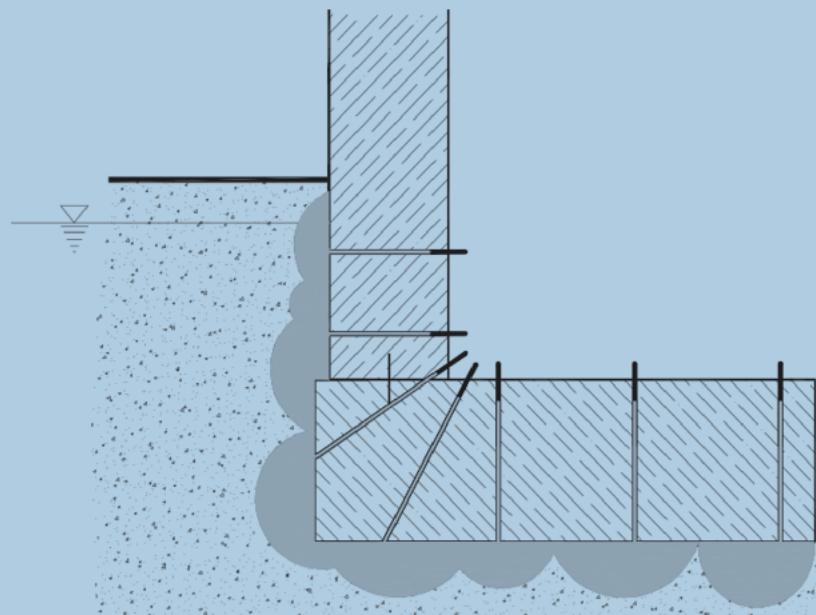


STUVA Studiengesellschaft für  
unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (Hrsg.)

# Abdichten von Bauwerken durch Injektion

ABI-Merkblatt

3. Auflage



Fraunhofer IRB Verlag



Merkblatt

# **Abdichtung von Bauwerken durch Injektion**

(ABI-Merkblatt)

Ausgabe Oktober 2014

# **STUVA-Merkblatt**

## **Abdichtung von Bauwerken durch Injektion (ABI-Merkblatt)**

1. Auflage März 2005; 2. Auflage Oktober 2007; **3. Auflage Oktober 2014**

### **Arbeitsgruppe**

#### **Leiter:**

Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack  
Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V. (STUVA)  
Mathias-Brüggen-Straße 41                  Fax: (02 21) 5 97 95-50  
50827 Köln                                      E-Mail: info@stuva.de

#### **Sprecher:**

Dipl.-Ing. Jörg de Hesselle  
IBE-Ingenieure GmbH + Co.KG  
Fasanenweg 19                          Fax: (0 22 42) 86 76 52  
53773 Hennef                              E-Mail: mail@ibe-ing.de

#### **Schriftführung:**

Dr.-Ing. Ute Hornig  
MFPA Leipzig  
Hans-Weigel-Str. 2 b                  Fax: (03 41) 65 82-199  
04319 Leipzig                            E-Mail: Hornig@mfpalipzig.de

#### **Mitglieder:**

Dipl.-Ing. Rainer Angst	BeMo Tunnelling GmbH, Werne
Dipl.-Ing. Holger Graeve	MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop
Dipl.-Chem. Jan Günther	TPH Bausysteme GmbH, Norderstedt
Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack	Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V., Köln
Dipl.-Ing. Jörg de Hesselle	IBE-Ingenieure GmbH + Co. KG, Hennef
Dr.-Ing. Ute Hornig	MFPA Leipzig GmbH
Dipl.-Ing. Matthias Rudolph	MFPA Leipzig GmbH

#### **Redaktionelle Bearbeitung:**

Dr.-Ing. Roland Leucker                  Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e. V., Köln

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung liegen bei den Verfassern. Vervielfältigungen, Mikroverfilmungen, Übersetzungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen bedürfen der schriftlichen Genehmigung durch die Arbeitsgruppe.

#### **Haftungsausschluss**

Das vorliegende Merkblatt ist nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Autoren und Herausgeber stützen sich auf den derzeitigen Stand der Kenntnisse, übernehmen jedoch keine Gewähr für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit oder sonstige Qualität der bereitgestellten Informationen. Jegliche Haftungsansprüche sind ausgeschlossen. Die Anwendung des Merkblatts entbindet die am Bau Beteiligten nicht von der Erfüllung ihrer sonstigen Pflichten, insbesondere nicht von der Berücksichtigung objektspezifischer Besonderheiten und der Beachtung bestehender Normen, Gesetze und bauaufsichtlicher Vorschriften.

---

**ISBN (Print): 978-3-8167-9360-1**  
**ISBN (E-Book): 978-3-8167-9361-8**

© Fraunhofer IRB Verlag, 2014  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 9 70-25 00, Telefax +49 7 11 9 70-25 08  
irb@irb.fraunhofer.de  
www.bauinformation.de

## Vorwort zur 3. Auflage

Zur Behebung von Schäden an der Abdichtung erdberührter Bauteile kommt immer häufiger die Injektionstechnik zur Anwendung. Für eine ganze Reihe in diesem Zusammenhang eingesetzter Materialien und Verfahren existieren jedoch keine Anwendungsnormen oder fachtechnischen Regelwerke. Eine Arbeitsgruppe anerkannter Fachleute aus den Bereichen Planung, Materialherstellung, Ausführung und Materialprüfung hat deshalb unter der Leitung der STUVA das vorliegende „Merkblatt zur Abdichtung von Bauteilen durch Injektion“ erarbeitet. Die in diesem Merkblatt beschriebenen Materialien und Applikationsverfahren zur nachträglichen Abdichtung stellen in technischer Hinsicht oft die einzige, effektive und wirtschaftliche Möglichkeit zur Schadensbehebung dar.

Nach der ersten Auflage aus dem Jahr 2005 ist auch die zweite Auflage aus 2007 vollständig vergriffen. Dies unterstreicht einmal mehr die hohe thematische Aktualität dieses STUVA-Merkblatts. Darüber hinaus haben aber auch die Fortschreibung nationaler und europäischer Regelwerke sowie das zunehmende Fachwissen aus einer sorgfältigen Analyse jüngster Forschungsergebnisse und materialbezogener Entwicklungen die Arbeitsgruppe veranlasst, eine dritte Auflage zu erarbeiten. Diese Neuauflage ist gegenüber der Vorausgabe in wesentlichen Teilen ergänzt sowie grundlegend überarbeitet. Sie reflektiert in großem Maß auch hinzugewonnene baupraktische Erfahrungen.

Das vorliegende Merkblatt beschreibt den neuesten Sachstand auf dem Gebiet nachträglicher Abdichtungsverfahren. Es zeigt zahlreiche technische Lösungen auf und enthält Hinweise für das Zusammenwirken der am Bau Beteiligten. Es wird als wichtige Erkenntnisquelle zur Anwendung empfohlen, da es sich inzwischen als Standardwerk etabliert hat.

Das Merkblatt richtet sich in erster Linie an Planer, ausschreibende Stellen, ausführende Unternehmen, Material- und Gerätehersteller, aber auch an Eigentümer, Baulastträger öffentlicher Infrastrukturen und Nutzer von Gebäuden und Gebäudekomplexen.

Köln, im Oktober 2014



Dr.-Ing. Roland Leucker  
Geschäftsführer  
STUVA – Studiengesellschaft für  
unterirdische Verkehrsanlagen e. V.



Prof. Dr.-Ing. Alfred Haack  
Leiter der Arbeitsgruppe  
STUVA – Studiengesellschaft für  
unterirdische Verkehrsanlagen e. V.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur 3. Auflage .....</b>	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Teil I Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze.....</b>	<b>7</b>
1 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen .....	7
2 Begriffe.....	7
3 Planung der nachträglichen Abdichtung .....	7
3.1 Allgemeines.....	7
3.2 Planungsgrundsätze .....	8
3.3 Flankierende Maßnahmen .....	8
3.4 Injektionsstoffe.....	9
3.5 Erforderliche Genehmigungen .....	9
4 Voruntersuchungen .....	9
4.1 Allgemeines .....	9
4.2 Bauwerk .....	10
4.3 Baugrund.....	10
4.4 Alternative Vorerkundungen .....	10
5 Ausführung .....	11
5.1 Allgemeines .....	11
5.2 Injektionsverfahren .....	11
5.2.1 Schleierinjektion .....	11
5.2.2 Flächeninjektion in Bauteile .....	14
5.2.3 Flächeninjektion in Bauteil- bzw. Bauwerkszwischenräume.....	15
5.2.4 Riss- und Hohlrauminjektionen .....	15
5.2.5 Einsatz von Injektionsschläuchen und -kanälen.....	16
5.2.6 Injektion von Bewegungsfugen .....	17
5.2.7 Abdichtende geotechnische Injektionen.....	19
6 Umweltschutz .....	21
6.1 Allgemeines .....	21
6.2 Injektionsstoffe.....	24
7 Dokumentation .....	25
<b>Teil II Injektionsstoffe.....</b>	<b>27</b>
1 Allgemeines.....	27
1.1 Injektionsstoffe auf Acrylatbasis.....	27
1.2 Injektionsstoffe auf Polyurethanbasis.....	29
1.3 Injektionsstoffe auf Epoxidharzbasis .....	31
1.4 Injektionsstoffe auf Silikatharzbasis .....	32

2	Eignungsnachweise .....	32
2.1	Allgemeines .....	32
2.2	Geregelte Injektionsstoffe.....	33
2.3	Ungeregelte Injektionsstoffe .....	34
	2.3.1 Prüfungen an Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten .....	34
	2.3.2 Funktionseigenschaften des ausreagierten Bauprodukts .....	38
2.4	Grundwasserhygienische Anforderungen.....	44
2.5	Werkseigene Produktionskontrolle (WPK).....	45
2.6	Fremdüberwachung .....	45
3	Lieferbedingungen .....	46
3.1	Lieferform und Verpackung .....	46
3.2	Kennzeichnung .....	46
	3.2.1 Einstufung von Injektionsstoffen allgemein.....	47
	3.2.2 Einstufung der Acrylatgele .....	48
	3.2.3 Einstufung der Polyurethanharze und -schäume.....	49
	3.2.4 Einstufung der Epoxidharze .....	50
	3.2.5 Einstufung der Injektionsstoffe auf Silikatharzbasis.....	50

### **Teil III Ausführung, Überwachung und Qualitätssicherung .....51**

1	Personal und Ausstattung von Ausführungsunternehmen.....	51
1.1	Allgemeines .....	51
1.2	Anforderungen an die Qualifikation des Personals .....	51
	1.2.1 Allgemeine Anforderungen.....	51
	1.2.2 Qualifizierte Führungskraft .....	51
	1.2.3 Baustellenleiter .....	52
	1.2.4 Baustellenfachpersonal.....	52
1.3	Geräteausstattung.....	52
	1.3.1 Allgemeines .....	52
	1.3.2 Injektionsgeräte.....	53
	1.3.3 Zubehör .....	55
1.4	Nachunternehmer .....	56
2	Anforderungen an die Ausführung .....	56
2.1	Allgemeines .....	56
2.2	Anforderungen in Abhängigkeit vom Injektionsverfahren.....	56
	2.2.1 Schleierinjektionen.....	56
	2.2.2 Flächeninjektion in Bauteile.....	58
	2.2.3 Flächeninjektion in Bauteilzwischenräume .....	59
	2.2.4 Füllen von Rissen und Hohlräumen .....	59
	2.2.5 Füllen von Injektionsschläuchen .....	61
	2.2.6 Füllen von Bewegungsfugen .....	62
2.3	Nachinjektionen .....	62

2.4 Reinigung und Entsorgung .....	63
3 Qualitätssicherung der Ausführung.....	63
3.1 Allgemeines.....	63
3.2 Eigenüberwachung der Injektionsarbeiten .....	63
3.3 Fremdüberwachung der Injektionsarbeiten .....	65
3.4 Dokumentation .....	65
<b>Anhänge.....</b>	<b>67</b>
Anhang I:    Normen und weiteres Schrifttum.....	67
Anhang II:   Erläuterungen, Begriffe.....	70
Anhang III:  Prüfplan Eigenüberwachung – Checkliste .....	73
1 Kontrolle Planung .....	73
2 Dokumentation während der Ausführung.....	73
2.1 Allgemeine Daten .....	73
2.2 Bohrungen.....	74
2.3 Suspension, Mantelmischung .....	75
3 Injektionen .....	75
3.1 Injektionsstoffe .....	75
3.2 Injektionsverlauf.....	76
4 Flankierende Maßnahmen.....	76

# Teil I Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze

## 1 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

Dieses Merkblatt beschreibt die Planung, Durchführung und Überwachung von Injektionen zur Abdichtung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton oder Mauerwerk gegen drückendes und nicht drückendes Wasser sowie gegen Bodenfeuchte im Sinne der DIN 18195<sup>1</sup> [1]. Mit den in diesem Merkblatt beschriebenen Injektionen können

- Flächenabdichtungen an der Bauwerksaußenseite
- Flächenabdichtungen in der Konstruktion zwischen zwei Bauteilen oder
- partielle Abdichtungen in undichten Bauteilen (Füllung von Rissen, Hohlräumen, Fehlstellen und Fugen) sowie
- abdichtende Gebirgsinjektionen

ausgeführt werden. In der Regel handelt es sich um nachträgliche Abdichtungsmaßnahmen, die auch im Zusammenhang mit anderen Schutz- und Instandsetzungsarbeiten erfolgen können. Auf bereits in den einschlägigen europäischen Normen DIN EN 1504-5 [2], in der Instandsetzungs-Richtlinie [3] und den ZTV-ING [4] geregelte Injektionsstoffe und Füllverfahren, wie z. B. das Füllen von Rissen mit Polyurethan (PUR), Zementleim (ZL) und Zementsuspension (ZS) wird verwiesen; sie werden hier jedoch nicht näher erläutert. Für die Herstellung von nachträglichen Horizontalsperren durch Injektion wird auf das entsprechende WTA-Merkblatt [5] verwiesen. Führt die nachträgliche Abdichtung zu veränderten Beanspruchungsbedingungen von Bauteilen, z. B. durch Wasserdruck, so kann sich daraus die Notwendigkeit einer Verstärkung oder Ertüchtigung des Tragwerkes ergeben. Solche Maßnahmen sind nicht Gegenstand dieses Merkblattes.

## 2 Begriffe

Die Begriffsbestimmungen gelten für alle Teile dieses Merkblattes. Sie sind im Anhang II des Merkblattes zusammengestellt. Im Anhang erläuterte Begriffe sind im Text kursiv gedruckt.

## 3 Planung der nachträglichen Abdichtung

### 3.1 Allgemeines

Mit der Planung und Auswahl nachträglicher Abdichtungsmaßnahmen muss ein *fachkundiger Ingenieur* beauftragt werden, der aus dem Schadensbild unter Berücksichtigung vorhandener Bauunterlagen die Schadensursachen feststellt und entsprechend den örtlich gegebenen Beanspruchungen (Bodenfeuchte, nicht drückendes Wasser oder drückendes Wasser nach DIN 18195, Teil 1 [1]) darauf abgestimmte Instandsetzungsvorschläge unterbreitet. Aus den Nutzungsanforderungen des Bauwerkes leitet sich in Abhängigkeit von der gegenwärtigen oder von der zukünftigen Beanspruchung das Instandsetzungsziel ab. Unterschieden werden beispielsweise:

<sup>1</sup> z. Z. in Überarbeitung, neue Definitionen in DIN 18533

- Erreichen der Wasserundurchlässigkeit
- Reduzierung des Wasserdurchflusses.

Die Festlegung des Instandsetzungsziels und des Zeitpunktes seines Erreichens ist Bestandteil der Planung. Die Entscheidungsgrundlagen und gegebenenfalls alle weiteren Anforderungen sind zu dokumentieren.

Die Planung hat sicherzustellen, dass das festgelegte Ziel bei fachgerechter Wahl von Methode und Injektionsstoffen unter Berücksichtigung der konstruktiven, bauphysikalischen und ausführungstechnischen Randbedingungen nutzungsgerecht erreicht werden kann.

### **3.2 Planungsgrundsätze**

Der *fachkundige Ingenieur* erstellt unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Voruntersuchungen (siehe Teil I, Abschnitt 4) sowie unter wirtschaftlichen, technischen und – wenn notwendig – betrieblichen oder denkmalpflegerischen Gesichtspunkten ein Abdichtungskonzept; ggf. sind Alternativen vorzuschlagen und zu bewerten.

Die Standsicherheit muss während und nach der Abdichtungsarbeit gewährleistet sein. In diesem Zusammenhang sind bei der Planung der Bohrungen (Raster, Anzahl, Durchmesser, Tiefe, Neigung, Bohrverfahren, Wiederverschluss etc.) neben den abdichtungstechnischen Erfordernissen auch statische Belange zu berücksichtigen.

Der mit der Abdichtungsplanung beauftragte *fachkundige Ingenieur* muss einschätzen, ob vor Beginn von nachträglichen Abdichtungsmaßnahmen entsprechende Sicherungen oder Verstärkungen der Tragkonstruktion zu treffen sind. Gegebenenfalls ist ein Tragwerksplaner hinzuzuziehen.

In der Regel sind zum Erreichen des Instandsetzungsziels flankierende Maßnahmen erforderlich. Diese müssen bei der Planung vom *fachkundigen Ingenieur* berücksichtigt werden, ggf. unter Hinzuziehung von Sonderfachleuten. Die Beachtung der Wirtschaftlichkeit, des Umweltschutzes, betrieblicher Belange und ggf. des Denkmalschutzes erfordern u. U. technische Sondermaßnahmen. Unter Berücksichtigung von Ausführbarkeit, Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit der Abdichtungsarbeiten ist die wirtschaftlichste, und nicht zwangsläufig die billigste Lösung zu wählen.

### **3.3 Flankierende Maßnahmen**

Die flankierenden Maßnahmen im Sinne dieses Merkblattes können folgende Einzelmaßnahmen umfassen:

#### **Standsicherheit**

Die Tragwerksplanung ist nicht Gegenstand des Merkblattes; ggf. müssen statisch wirksame Maßnahmen vor den Abdichtungsinjektionen durchgeführt und mit den übrigen Arbeiten koordiniert werden. Die Abstimmung und Koordinierung von Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit ist Aufgabe des *fachkundigen Ingenieurs*.

## Bauphysikalische Maßnahmen

Sofern die abzustellenden Feuchteschäden auch auf bauphysikalische Ursachen zurückzuführen sind, hat der *fachkundige Ingenieur* die erforderlichen Maßnahmen zu veranlassen und zu koordinieren.

### Reduzierung der Wasserdruckbeanspruchung

Die Reduzierung der Wasserdruckbeanspruchung für die bestehende oder neu herzustellende Abdichtung durch Entlastungssysteme wie z. B. Dränagen oder Sickerbrunnen ist – sofern erforderlich – Bestandteil der Abdichtungsplanung. Eine dafür notwendige Einleitungsgeehmigung ist im Vorfeld einzuholen. Zwingend erforderlich ist die regelmäßige Wartung der entsprechenden Entlastungssysteme.

### Trocknungsmaßnahmen

Nach Abschluss der Abdichtungsmaßnahmen ist in der Regel ein Trocknungsprozess der durchfeuchteten Bauteile erforderlich. Eine Beschleunigung kann durch den Einsatz zusätzlicher Trocknungsmaßnahmen (Kondensationsentfeuchter, Lüftungsregime etc.) oder durch entsprechende Nutzungsvorgaben erreicht werden. Art und Umfang sind vom *fachkundigen Ingenieur* vorzugeben.

### Schutzmaßnahmen

Vorhandene Ver- und Entsorgungsleitungen sowie Dränagen etc. sind vor mechanischer Beschädigung und Materialeintritt zu schützen. Negative Auswirkungen auf Nachbarbebauung und Umwelt / Grundwasser sind durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.

## 3.4 Injektionsstoffe

Im Allgemeinen sind für Abdichtungsinjektionen grundsätzlich Stoffe auf Basis von Acrylat/Methacrylat, Polyurethan, Zement, Epoxid- sowie Silikatharz geeignet. Ihr Einsatz ist entsprechend stoffspezifischer Besonderheiten anwendungsbezogen abzuwägen.

## 3.5 Erforderliche Genehmigungen

Injektionen in den Baugrund sind nach Wasserhaushaltsgesetz § 8 ff [6] genehmigungspflichtig. Das Einholen von Genehmigungen bei den zuständigen Behörden (i. d. R. Untere Wasserbehörde) ist Aufgabe des Bauherrn und muss vor Beginn der Abdichtungsmaßnahme durch den Planer kontrolliert und ggf. veranlasst werden.

## 4 Voruntersuchungen

### 4.1 Allgemeines

Im Verlauf der Voruntersuchungen muss die genaue Ursache für die Feuchteschäden ermittelt werden. Vor der Planung von Injektionsarbeiten ist über Voruntersuchungen zu klären, ob die Durchfeuchtungen ganz oder teilweise auf bauphysikalische Ursachen, auf Anlagen der Haustechnik oder auf Besonderheiten der Nutzung zurückzuführen sind. In einem solchen Fall müssen diese Ursachen zunächst beseitigt werden.

## 4.2 Bauwerk

Im Rahmen der Voruntersuchungen müssen Informationen über die Konstruktion und den Aufbau der feuchtegeschädigten Bauteile sowie vorhandene Abdichtungen beschafft werden. Häufig lassen sich Schadensursachen nur über die Betrachtung der Gesamtkonstruktion ermitteln. Sofern Bauwerksunterlagen vorhanden sind, sind diese zu sichten und stichprobenartig auf Übereinstimmung mit der Objektsituation zu prüfen.

Zu beachten ist, dass sich durch Besonderheiten des Bauwerkes (z. B. bei mehrschaligen Bauteilen) veränderte Eigenschaften des anstehenden Wassers (z. B. Veränderungen des pH-Wertes) ergeben können, die Einfluss auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Injektionsstoffes haben. Daher sind entsprechende ergänzende Untersuchungen durchzuführen.

Sofern keine oder nur unzureichende Unterlagen über das Bauwerk vorhanden sind, muss sich der *fachkundige Ingenieur* durch zusätzliche Zustandsuntersuchungen Gewissheit über Konstruktion, Bauteilabmessungen, verwendete Baustoffe sowie Art und Zustand alter Abdichtungen verschaffen.

## 4.3 Baugrund

Wenn der Baugrund in die Abdichtung einbezogen werden soll (wie z. B. bei *Schleierinjektionen* oder bei abdichtenden Gebirgsinjektionen), müssen mindestens folgende Informationen zum Baugrund und zur Hydrologie ermittelt werden:

- Bodenart (Schluff, Sand, Ton etc.) und ggf. Schichtung
- Durchlässigkeitsbeiwert oder gleichwertige Informationen zur Injizierbarkeit
- äußerer Wasserstand und zu erwartende Schwankungen des Wasserspiegels (Bemessungswasserstand)
- chemische Beschaffenheit des Wassers (z. B. pH-Wert, besondere natürliche chemische Belastungen, Kontaminationen, Angriffsgrad nach DIN 1045-2 [7]).

Unter Umständen können weitere Informationen, z. B. zu Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwassers für die Planung erforderlich werden. Im Rahmen der Erkundung des Baugrundes sollte ebenfalls recherchiert werden, ob sich in der Umgebung der abzudichtenden Konstruktion Dränanlagen, Leitungen, Wasserschutzgebiete oder andere Besonderheiten befinden.

## 4.4 Alternative Vorerkundungen

Zur Abschätzung der Injizierbarkeit des Bodens, der Reichweite der Injektion und der Form des entstehenden Injektionskörpers ist insbesondere die Kenntnis der Durchlässigkeit des Bodens gegenüber Flüssigkeiten von großer Bedeutung. Meist handelt es sich bei den Böden in der unmittelbaren Umgebung von Bauwerken nicht um gewachsenen Baugrund, sondern um Auffüllmaterial, unter Umständen auch durchmischt mit Bauschutt. Eine Aussage über die tatsächlichen Bodenverhältnisse, die ringsum für alle zu injizierenden Bereiche eines Bauwerks gültig ist, lässt sich daher nur über eine hohe Untersuchungsdichte erreichen.

Wenn die nach Teil I, Abschnitt 4.3 erforderlichen Informationen nicht anders beschafft werden können oder das vorhandene Untersuchungsraster verdichtet werden muss, kommen alternative Verfahren in Betracht.

Informationen zum Verhalten des Baugrundes bezüglich der Durchlässigkeit können durch *Erkundungsinjektionen* unter Nutzung ohnehin erforderlicher Injektionsbohrungen gewonnen werden. Dabei wird durch ein Bohrloch mittels eines Packers Wasser in den Baugrund injiziert, sodass ein vorgewählter Volumenstrom (auch als Durchfluss oder Einpressrate bezeichnet) kurzzeitig konstant gehalten und der auftretende Druck an der Injektionsstelle gemessen wird. Aufgezeichnet wird der Volumenstrom-Druck-Verlauf bei unterschiedlichen Fördermengen. Durch stufenweise Erhöhung und anschließende ebenfalls stufenweise Absenkung des Volumenstroms entstehen Wertepaare aus Volumenstrom und Druck, die sich als Volumenstrom-Druck-Kurve (Q-p-Kurve) auftragen und bewerten lassen.

Eine Auswertung kann qualitativ durch Zuordnung zu den Grundformen solcher Kurven nach Kutzner [43] erfolgen (Tabelle I/1). Aus der Zuordnung zu den Grundformen lassen sich Schlussfolgerungen zur Anpassung der Injektionstechnologie ziehen.

Für eine numerische Auswertung der Probeinjektionen eignet sich nach derzeitigem Kenntnisstand der Vergleich der Flächen unter den Kurventeilen für zunehmenden und abnehmenden Volumenstrom. Ein Vorschlag für Acrylatgelinjektionen ist in [44] enthalten.

Die Probeinjektionen erfordern als Voraussetzung für die Aufnahme von Messwerten zur Darstellung im Q-p-Diagramm eine pulsationsfrei arbeitende Pumpe, deren Volumenstrom regelbar ist, sowie außerdem eine Druckmessung unmittelbar an der Injektionsstelle. Geeignet für die Erkundungsinjektion sind z. B. regelbare Exzenterorschneckenpumpen.

## 5 Ausführung

### 5.1 Allgemeines

Zum Injektionsverfahren für das Füllen von Rissen, Hohlräumen, Poren und Kapillaren mit Injektionsstoffen unter Druck gehören neben den Injektionsstoffen auch die Pumpentechnik, Packer, Verdämmung und ggf. Hilfsmittel. Je nach Verfahren ist die Injektion in die Konstruktion (Bauteilquerschnitt, Risse, Fugen, Fehlstellen), in Bauwerkszwischenräume und/oder in den angrenzenden Baugrund möglich. Diese Injektionen können partiell oder vollflächig ausgeführt werden. Die Auswahl der Injektionsverfahren und der Injektionsstoffe muss sicherstellen, dass ein unkontrolliertes Abfließen des injizierten Materials ausgeschlossen ist.

### 5.2 Injektionsverfahren

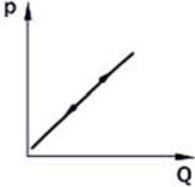
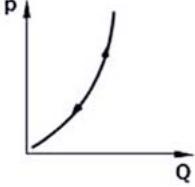
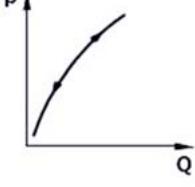
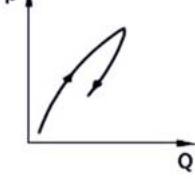
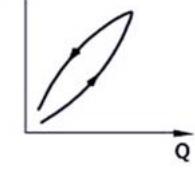
Abhängig von den Eigenschaften der Injektionsmaterialien sind unterschiedliche Injektionsverfahren möglich.

#### 5.2.1 Schleierinjektion

Durch die *Schleierinjektion* wird der an ein Bauteil angrenzende Baugrund zum Abdichtungselement. Das erfordert meist ein Durchbohren des undichten Bauteils von innen

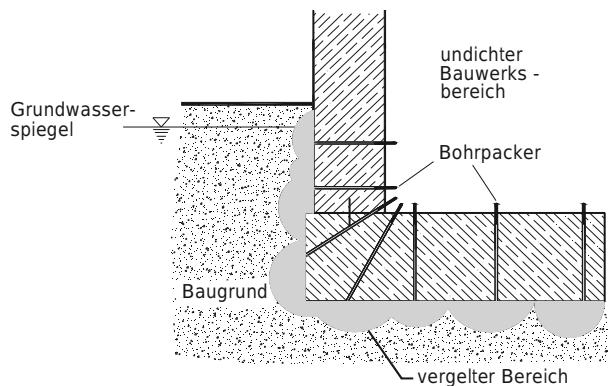
nach außen. Dieses Injektionsverfahren lässt sich nur mit Gelen (überwiegend auf Acrylatbasis) ausführen. Die *Schleierinjektion* unterscheidet sich durch einige Besonderheiten von anderen Baugrundinjektionen im Grundbau. Es kann daher auch nur teilweise auf diesbezüglich vorliegende Erfahrungen und Kenntnisse zurückgegriffen werden.

**Tabelle I/1: Schlussfolgerungen aus dem Ergebnis von Probeinjektionen nach Kutzner [43]**

Grundform	Kurvenform	Schlussfolgerungen für die Injektionstechnologie
<b>A</b> laminares Fließen		<b>gut injizierbarer Boden</b> der maximale Volumenstrom (Injektionsrate) der Probeinjektion kann auch für die Gelinjektion verwendet werden
<b>B</b> turbulentes Fließen		<b>Anzeichen für große Querschnitte der Fließwege</b> Reduzierung des Volumenstroms bei der Injektion oder Verwendung eines schnell reagierenden Injektionsstoffes, um die Zeit für Vermischung mit Wasser zu reduzieren, Verdichtung des Bohrrasters mit entsprechender Verringerung der Injektionsmenge je Bohrloch
<b>C</b> elastische Gebirgsverformung		<b>Reduzierung des maximalen Volumenstroms</b> elastische Verformung des anstehenden Baugrundes ist bei der Schleierinjektion unwahrscheinlich.
<b>D</b> Aufreißen, Erosion des Gebirges		<b>Anzeichen für schwer injizierbaren Boden</b> Gefügeveränderungen (meist Erosion) durch die Probeinjektion, aus der Anstiegsänderung der aufgenommenen Kurve ist auf den maximal zu empfehlenden Volumenstrom zu schließen, Reduzierung des Volumenstroms bei der Injektion
<b>E</b> Kluftverfüllung im Gebirge		<b>Bildung einer Membran (positives Ergebnis) oder Fingerbildung (keine Abdichtung herstellbar)</b> Injektion mit geringem Volumenstrom und Kontrolle der Materialverteilung bei der Injektion, um zwischen beiden Fällen zu unterscheiden. Im ungünstigen Fall ist der Boden nicht injizierbar.

Zudem handelt es sich bei dem von der Injektion erfassten Baugrund meist um aufgefülltes Material. Dieses Material ist durch unterschiedliche Verdichtung, stark wechselnde Eigenschaften sowie teilweise durch Hohlräume und Fremdkörper bestimmt. Außerdem erfolgt die Injektion nicht in einen allseitig offenen Raum, sondern in einen Halbraum, der durch die Wand des Bauwerkes begrenzt ist.

Die Reichweite der Injektion soll sich auf die unmittelbare Nähe der abzudichtenden Bauwerkswand beschränken. Eine Verfestigung des angrenzenden Erdreiches ist nicht notwendig und auch nicht angestrebt. Das anfangs sehr niedrigviskose, flüssige Gel breitet sich in dem zugänglichen Porengefüge aus. Es verdrängt das dort vorhandene Wasser und bildet nach einer produktabhangigen Reaktionszeit einen elastischen Injektionskörper. In Abbildung I/1 ist das Prinzip schematisch dargestellt.



**Abb. I/1: Prinzip der Gelschleierinjektion**

In durchlässigen Sanden bilden sich um die Austrittsstellen halbkugelförmige Injektionskörper aus einem Gel-Erdstoff-Gemisch. Durch die Überlappung der Einflussbereiche der einzelnen Injektionen entsteht an der Außenseite des Bauwerkes ein Gelschleier, der die Funktion der Abdichtung übernimmt. Die Bohrabstände müssen so gewählt werden, dass der Gelschleier (Gel-Erdstoff-Gemisch) im abzudichtenden Bereich durchgehend eine Mindestdicke von 10 cm aufweist. Im Regelfall bildet ein vollflächiger Gelschleier an der Bauwerksaußenseite die neue Abdichtung. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, vor Teilflächen etwa im Bereich des Wand-Boden-Anschlusses oder außerhalb von Bewegungsfugen lokal einen Gelschleier zu injizieren. Bei derartigen partiellen Abdichtungen muss in der Planung die Haftung des eingesetzten Materials an der Bauwerksaußenseite berücksichtigt werden, damit keine Umläufigkeit auftritt.

Auf die Entstehung und Funktionsfähigkeit der Schleierabdichtung hat neben dem Gel und seinen speziellen Eigenschaften eine Reihe weiterer Faktoren entscheidenden Einfluss. Das ergibt sich u. a. aus der Besonderheit der Injektion durch das abzudichtende Bauteil hindurch in den angrenzenden Baugrund. Die unmittelbar an das Bauwerk angrenzende Baugrundschicht wird über die Durchsetzung mit dem injizierten Gel Bestandteil der neuen Abdichtung.

Die Qualitätssicherung der Gelschleierinjektion stellt hohe Anforderungen an Planer und Ausführende, da der Gelschleier weder während der Herstellung noch im fertigen Zustand sichtbar ist. Deshalb ist besonderer Wert auf eine sorgfältige Planung der Abdichtungsmaßnahmen zu legen. Im Rahmen der Planung sollten die für den konkreten Anwendungsfall erforderlichen Materialeigenschaften festgelegt und in einer beschränkten Ausschreibung die Firmen ausgewählt werden, die sowohl über die erforderliche Fachkompetenz verfügen als auch eine enge Zusammenarbeit zwischen Planer, Bauherrn und Verarbeiter erwarten lassen.

## 5.2.2 Flächeninjektion in Bauteile

Durch die *Flächeninjektion* in ein Bauteil wird das Bauteil selbst zum Abdichtungselement. Auch ursprünglich nicht für Abdichtungszwecke vorgesehenen Konstruktionsteilen kann so nachträglich die Funktion der Abdichtung zugewiesen werden. *Flächeninjektionen* in die Konstruktion hinein können mit niedrigviskosen Gelen oder Harzen auf Basis von Acrylat, Polyurethan und bedingt auch auf der Basis von Epoxid oder Silikon durchgeführt werden. Möglich ist auch die Verwendung von Injektionsstoffen auf Zementbasis.

Durch flächige Injektion geeigneter Materialien können die für den Wassertransport verantwortlichen Transportwege im Bauteil abgedichtet werden. Hauptanwendungsgebiet sind historische Bauwerke, bei denen bedingt durch Bauweise und Baustoffauswahl (z. B. Naturstein, Stampfbeton etc.) Poren und Hohlräume zur Verfügung stehen, in die Injektionsstoffe eingebracht werden können. Der Erfolg ist von der Durchführung geeigneter Voruntersuchungen und von einer fachkundigen Ausführung abhängig.

Voraussetzung ist ein Baustoffgefüge, bei dem der Wassereintritt über Risse, Fugen bzw. Hohlräume oder das Poresystem erfolgt. Mit der Injektion werden diese Fehlstellen gefüllt. Das Bauwerk wird nicht komplett durchbohrt, sondern die Bohrkanäle werden nur so nahe wie möglich an die Außenseite des Bauwerks geführt. Die rasterförmig angelegten Bohrkanäle sollten von der Horizontalen nach unten geneigt sein, damit sie möglichst lang sind und somit die Anzahl der erfassten Risse, Fehlstellen und für den Wassertransport zur Verfügung stehenden Poren und Hohlräume möglichst groß ist. Raster und Bohrlochtiefe sind vom abzudichtenden Bauteil abhängig und werden vom Planer festgelegt.

Das niedrigviskose Material wird unter mäßigem Druck, in der Regel mit  $p < 10$  bar, in die Packer injiziert und verteilt sich im Bauteil. Dabei wird das vorhandene Wasser aus den Fehlstellen verdrängt. Eine Aufweitung vorhandener Risse und Fehlstellen oder die Neubildung von Rissen, die durch zu hohen Injektionsdruck hervorgerufen werden können, ist zu vermeiden.

Für diese Injektionen werden vor allem Acrylatgele eingesetzt, die durch ihre sehr niedrige Viskosität selbst in feine Risse, Poren und Fehlstellen eindringen können und diese verstopfen. Insbesondere bei Bauwerken mit großen Hohlräumen hat sich der Einsatz von Gelen mit Reaktionszeiten von  $t < 2$  min bewährt.

Oft lassen sich *Schleierinjektion* und Injektion in Bauteile nicht voneinander trennen. Insbesondere bei der *Schleierinjektion* in den Baugrund hinter hohlraumreichem Mauerwerk werden parallel zur Entstehung des Gelschleiers an der Außenseite auch Fehlstellen im Bauteil mit Gel gefüllt.

Insbesondere bei der Injektion größerer Materialmengen ist der vom Injektionsstoff auf das Bauwerk ausgeübte Druck in statischer Hinsicht zu berücksichtigen. Falls erforderlich ist der Injektionsdruck zu reduzieren.

### 5.2.3 Flächeninjektion in Bauteil- bzw. Bauwerkszwischenräume

Bei diesem Verfahren wird in technologisch bedingten Trennflächen zwischen zwei benachbarten Bauteilen eine Dichtungsschicht angeordnet. Solche Trennflächen können z. B. zwischen einer schadhaften Dichtungsbahn und dem stützenden, aber selbst nicht dichten Massivbauteil oder zwischen zwei Schalen eines Massivbauteils liegen.

*Flächeninjektionen* in Bauteil- bzw. Bauwerkszwischenräume können mit Injektionsstoffen auf Basis von Polyurethan, Acrylat oder Zement ausgeführt werden. Beim Einsatz von Gelen sind modifizierte, gefüllte Systeme auszuwählen, die durch minimierte Permeabilität hohe Dichtwirkung in geringer Schichtdicke erreichen.

Bei der Planung dieser nachträglichen Bauwerksabdichtung ist durch Voruntersuchungen zu klären, ob eine ausreichende Verteilung des Injektionsmaterials in der vorgesehenen Trennfläche möglich ist. Es muss sichergestellt sein, dass eine zusammenhängende Dichtungsschicht ausreichender Dicke entsteht, in der der Injektionsstoff allein oder zusammen mit noch funktionsfähigen Teilen der ursprünglichen Abdichtung das Erreichen des Instandsetzungziels sicherstellt.

Die konkrete Vorgehensweise muss wegen der vielfältigen Einflüsse objektspezifisch durch den *fachkundigen Ingenieur* festgelegt werden. Dabei kann es erforderlich sein, die Vorgaben in Abhängigkeit von ersten vorliegenden Injektionsergebnissen anzupassen.

### 5.2.4 Riss- und Hohlrauminjektionen

Rissinjektionen und Injektionen begrenzter Hohlräume sind ein häufiger Anwendungsfall partieller Injektionen. Dabei werden wasserführende Risse mit einem für Abdichtungsaufgaben geeigneten Injektionsstoff gefüllt und so die Fließwege im Bauteil abgedichtet. Undichte Arbeitsfugen werden in Bezug auf Injektionen wie Risse behandelt. Das Füllen von Rissen und Hohlräumen mit Polyurethanharz, Zementsuspension und Zementleim ist sowohl hinsichtlich der stofflichen Anforderungen als auch der Ausführung in [3] und [4] geregelt. Polyurethanschäume sind zur dauerhaften Abdichtung nicht geeignet (s. a. Teil II, Abschnitt 1.2).

In Sonderfällen kommen Injektionsstoffe auf Acrylatbasis zum Einsatz. Diese Injektionsstoffe sind grundsätzlich für Rissinjektionen geeignet, sofern die Standsicherheit des Bauwerks weder durch das Schadensbild noch durch die Injektionsmaßnahme negativ beeinflusst wird und für sie ein entsprechender Eignungsnachweis vorliegt. Im Rahmen des Nachweises sind die Dehnfähigkeit, Haftung auf unterschiedlichen Untergründen, begrenztes Quell- und Schrumpfverhalten sowie Reversibilität der Quellprozesse zu überprüfen.

Für den Einsatz in Stahlbetonbauwerken muss außerdem der Nachweis erbracht werden, dass vom eingesetzten Material keine Korrosionsgefährdung für den Bewehrungsstahl ausgeht und ggf. vorhandene Fugeneinlagen (wie z. B. thermoplastische Fugenbänder oder Elastomerfugenbänder) nicht in ihren mechanischen Eigenschaften ungünstig beeinflusst werden. Sofern die Verträglichkeit von der Dosierung einzelner Mischungsbestandteile abhängig ist, muss zuverlässig sichergestellt werden, dass die Injektionsstoffe nur in der geprüften Konfiguration zum Einsatz kommen.

Injektionsstoffe auf Acrylatbasis dürfen für die Rissinjektion in Stahlbetonbauwerken nur eingesetzt werden, wenn sie für diese Anwendung eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) besitzen. Der Anwendungsbereich ist in der abZ beschränkt auf das begrenzt dehnfähige und quellfähige Schließen und Abdichten von Rissen mit Riss- und Fugenbreiten von 0,1 mm bis 2 mm. Die Bewehrung muss im nicht karbonatisierten Beton liegen. Bauteile dürfen nicht durch Tausalze oder Meerwasser beaufschlagt sein. Zulässige Feuchtezustände der Risse bei der Injektion sind „trocken“, „feucht“ und „drucklos wasserführend“. Die Anwendung darf nur in mindestens einseitig feuchtebeanspruchten Bauteilen (i. d. R. erdberührten Bauteilen), auch unter Wasserwechselbeanspruchung, erfolgen.

Bei der Injektion in wassergefüllte Hohlräume und grobkörnige Haufwerke, z. B. aus Kies, Schotter oder Bauschutt, ändert sich der Charakter der Fließvorgänge gegenüber der Injektion in poröse oder gerissene Baustoffe und Böden. In Poren und Rissen mit geringen Durchmessern bzw. Breiten bildet sich eine überwiegend laminare Strömung, so dass vorhandenes Wasser durch den Injektionsstoff verdrängt wird. Werden Hohlräume mit größeren Abmessungen durchflossen, treten turbulente Strömungen auf, bei denen es an der Grenzfläche zwischen Injektionsstoff und Wasser zur Vermischung kommt. Dadurch kann es zum Verlust der Abdichtwirkung des Injektionsstoffes kommen. Dieser Effekt wirkt sich besonders stark bei niedrig viskosen Injektionsstoffen aus.

Durch den Planer sind geeignete Maßnahmen festzulegen, um negative Auswirkungen wassergefüllter Hohlräume auf das Injektionsergebnis zu minimieren. Dabei kommen z. B. folgende Möglichkeiten in Frage:

- Injektionsstoff mit kurzer Reaktionszeit,  
dadurch Verkürzung der zur Vermischung mit Wasser verfügbaren Zeit
- verdichtetes Injektionsraster,  
dadurch kürzerer Fließweg in Verbindung mit kurzer Reaktionszeit
- Verwendung von Material höherer Viskosität,  
dadurch geringere Turbulenz und Vermischung an der Grenzfläche zum Wasser;  
Auswirkungen auf Reichweite und Druck sind zu beachten
- Füllung der Hohlräume vorab mit geeignetem Material,  
dadurch Verdrängung des Wassers aus den Hohlräumen vor der Abdichtungsinjektion; nur anwendbar, wenn die Verträglichkeit zwischen Füllmaterial und Injektionsstoff gewährleistet ist; Es darf kein Einsatz von Acrylatgelen unmittelbar nach einer Zementinjektionen erfolgen, ohne vorherige Prüfung des pH-Wertes im zu füllenden Hohlraum.

## 5.2.5 Einsatz von Injektionsschläuchen und -kanälen

Bei Injektionsschläuchen bzw. -kanälen – nachfolgend vereinfachend als Injektionsschlauch bezeichnet – handelt es sich um Hilfsmittel zur Injektion von Arbeitsfugen. Der mit Austrittsöffnungen versehene Injektionsschlauch dient der Förderung und gleichmäßigen Verteilung des Injektionsstoffes im Bauteilinneren. Er dichtet selbst nicht ab. Die Abdichtung wird erst durch die Füllung zugänglicher Bereiche der Arbeitsfuge mit dem Injektionsstoff erreicht.

Injektionsschläuche können in Abhängigkeit von ihrem Aufbau, dem Injektionsziel und der Viskosität der Injektionsstoffe grundsätzlich mit allen vorangehend aufgeführten Injektionsstoffen injiziert werden. Zur Anwendung kommen allerdings überwiegend Polyurethane, Acrylatgele und Zementsuspensionen.

Nach ihrem Aufbau werden ein- oder mehrteilige, mit unterschiedlichen Austrittsöffnungen versehene Profile unterschieden, die überwiegend aus thermoplastischen Kunststoffen bestehen. Die Verwendung von Injektionsschlauchsystemen stellt eine geplante Abdichtungsmaßnahme für Arbeitsfugen dar, bei der die Schläuche vorher einbetoniert werden.

An Injektionsschlauchsysteme wird eine Reihe von Anforderungen gestellt, deren Erfüllung im Rahmen von bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweisen durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) nachzuweisen ist:

- Robustheit der Schläuche und Befestigungsmittel gegenüber dem Betonierprozess
- Sicherung gegen Aufschwimmen beim Betonieren (Lagesicherheit)
- ausreichender Querschnitt für das Füllen des Injektionskanals
- Verhinderung des Eindringens von Zementleim beim Betonievorgang
- Austrittsöffnungen, die sich im eingebauten Zustand mit geringem Injektionsdruck öffnen
- Sicherstellung der Nachinjizierbarkeit innerhalb der Verarbeitbarkeitsdauer des Füllstoffs

Weitere Anforderungen und Hinweise für die Verlegung von Injektionsschläuchen enthält das DBV-Merkblatt „Injektionsschlauchsysteme und quellfähige Einlagen für Arbeitsfugen“ [8].

### 5.2.6 Injektion von Bewegungsfugen

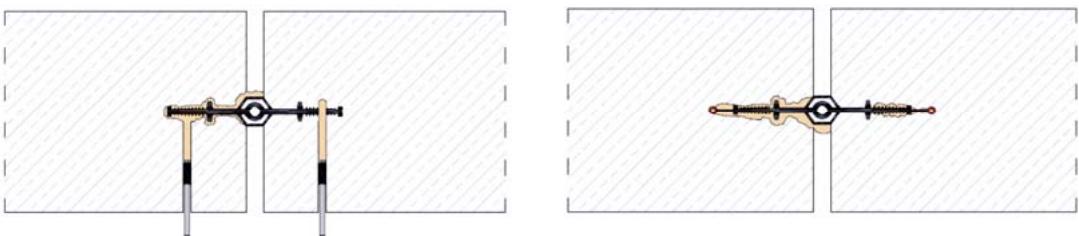
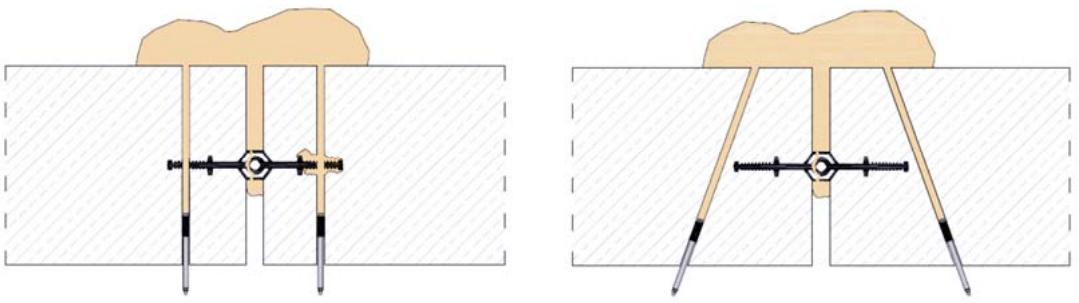
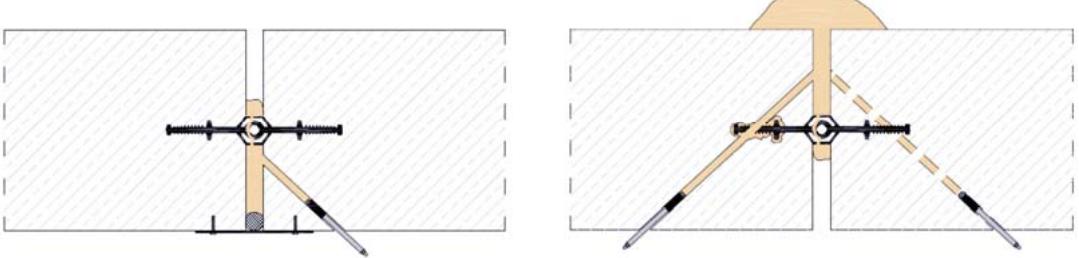
Bei der Injektion von Bewegungsfugen handelt es sich in der Regel um nachträgliche Abdichtungen im Instandsetzungsfall. Die Maßnahme richtet sich nach Art und Lage der vorhandenen planmäßigen Abdichtung (innen- oder außenliegende Fugenbänder). Die genaue örtliche Situation ist im Rahmen der Voruntersuchung durch eine Bauwerkserkundung zu ermitteln.

In den folgenden Abbildungen sind grundsätzliche Möglichkeiten zur nachträglichen Fugenabdichtung am Beispiel einer Bewegungsfuge mit innenliegendem Fugenband dargestellt. Die abgebildeten Lösungen können sinngemäß auch bei undichten außenliegenden Fugenbändern angewendet werden. Die konkrete Ausführung, z. B. Durchbohren von Fugenbändern sowie die Anordnung von Bohrungen (Neigung, Durchmesser, Lage, Bohrtiefe) muss vom *fachkundigen Ingenieur* auf der Grundlage der Ergebnisse der Bauwerksuntersuchung ggf. unter Hinzuziehung eines Tragwerkplaners festgelegt werden.

In Abhängigkeit von der konkreten Bauausführung ist auch eine andere Kombination der vorangehend dargestellten Prinzipien möglich.

Die Injektionen lassen sich mit Injektionsstoffen auf Acrylat- und/oder Polyurethanbasis ausführen. In der Regel ist der Einsatz von modifizierten, gefüllten Systemen zu bevorzugen. Die zum Einsatz kommenden Stoffe sollten für diese Anwendung über einen entsprechenden Funktionsnachweis verfügen. Einkomponentige Polyurethanschäume sind zur dauerhaften Abdichtung von Bewegungsfugen nicht geeignet (siehe Teil II, Abschnitt 1.2).

**Tabelle I/2: Abdichtungsprinzipien für Bewegungsfugen**

<p><b>A</b> Füllung von Fehlstellen im Kontaktbereich zwischen Fugenband und Beton mit oder ohne Durchbohren des Fugenbands (linke Darstellung) oder über Injektionsschläuche (rechte Darstellung)</p> 
<p><b>B</b> Partielle baugrundseitige Injektion – Durchbohren des Bauteilquerschnitts</p> 
<p><b>C</b> Füllung des Fugenspaltes (luft- und/oder wasserseitig), ggf. in Kombination mit partieller baugrundseitiger Injektion</p> 

Bei der abdichtenden Injektion von Bewegungsfugen sind folgende Besonderheiten zu beachten:

- Vor der Injektion der Fuge sollte das alte Fugenfüllmaterial weitestgehend ausgeräumt werden. Die Fugenflanken sollten frei von losen und trennenden Bestandteilen sein. Bei tiefen Fugen ( $t > 0,5$  m) reicht oft auch ein teilweises Entfernen der Abstellung. Bis zu welcher Tiefe frei geräumt werden muss, hängt von Art und notwendiger Schichtdicke der neuen Fugenfüllung und der konstruktiven Fugenausbildung ab.
- Wenn die Fugenfüllung nicht vollständig entfernt wird oder werden kann, ist deren dauerhafte Verträglichkeit mit dem gewählten Injektionsstoff ggf. in anwendungstechnisch orientierten Vorversuchen zu klären.
- In der Regel sind die Bewegungsfugen vor der Injektion zu verdämmen. Zur Verdämmung eignen sich in Abhängigkeit vom Injektionsstoff z. B. Fugenfüllprofile, Kompressionsprofile, Bleche, Mörtel oder Fugendichtstoffe. Die Verdämmung kann dauerhaft oder temporär ausgelegt sein. Die Verdämmung soll sowohl das Austreten des Injektionsstoffes bei der Fugenfüllung verhindern als auch ggf. ein Austrocknen des Injektionsstoffes behindern. Bei quellfähigen Injektionsstoffen kann mit der Verdämmung ggf. ein festes Widerlager geschaffen werden.
- Die Fugeninjektion erfolgt über Packer oder über vor der Verdämmung eingelegte Füll- und Entlüftungsschläuche.
- In der Detailplanung sind die Bauteil- und Umgebungstemperaturen während der Injektion, die zu erwartende Wasserdruckbeanspruchung, die Fugenbewegungen sowie die Anschlüsse an andere Fugenabdichtungen zu beachten. Dazu sind Art und Umfang der maximal möglichen Fugenbewegungen (Dehnung, Stauchung, Scherung, Frequenz und Amplitude etc.) zu ermitteln, um den günstigsten Injektionszeitpunkt sowie den geeigneten Injektionsstoff festzulegen.
- Sofern bei der Planung nicht der günstigste Injektionszeitpunkt (Bauteiltemperatur, niedrigste Anwendungstemperatur des Injektionsstoffes etc.) ermittelt werden kann bzw. die Ausführung nicht zu diesem Zeitpunkt erfolgen kann, sind mehrmalige Injektionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nicht auszuschließen.

### 5.2.7 Abdichtende geotechnische Injektionen

Abdichtende geotechnische Injektionen bilden einen Sonderfall der in diesem Merkblatt beschriebenen Injektionen zur Bauwerksabdichtung. Wesentliche Zusammenhänge sind in DIN EN 12715 [23] dargestellt. Sie werden hier speziell unter dem Gesichtspunkt der Abdichtung erwähnt. Während grundsätzlich alle in diesem Merkblatt beschriebenen Injektionsstoffe verwendet werden können, sind in Bezug auf Voruntersuchungen, geotechnische Erkundung, Planung und Injektionstechnologie einige Besonderheiten gegenüber den anderen, in diesem Merkblatt beschriebenen Verfahren zu beachten.

Der Abdichtungswirkung als wesentliche Zielstellung entsprechend kommen zur Abdichtung alle Injektionsverfahren in Betracht, die im Gebirge vorhandene Transportwege für Wasser unterbrechen oder zumindest wesentlich verengen. Nach den Definitionen der DIN EN 12715 [23] wird dabei das Prinzip der Injektion ohne Baugrundverdrängung durch Anwendung der Injektionsverfahren wie Poreninjektion, Kluft- und Kontaktinjektion oder Hohlraumverfüllung umgesetzt.

Abdichtende Gebirgsinjektionen können ausgeführt werden, um eine Dichtung herzustellen wie es bei Dichtungsschleieren unter Baugrubensohlen der Fall ist. Der Beherrschung des Grundwassers im Bauzustand dienen auch Injektionen im Tunnelbau, die dem Vortrieb vorausseilen oder die im Tunnel hinter der Ortsbrust ausgeführt werden können. Vorauseilende Injektionen werden dabei zum Teil mit Erkundungsbohrungen gekoppelt.

Eine weitere Anwendung besteht im Zusammenwirken der abdichtenden geotechnischen Injektion mit wasserundurchlässigen Baukörpern. Auf diese Weise können Abschlüsse von WU-Bauteilen durch Injektionsschirme so hergestellt werden, dass der Wassertransport parallel zur Außenfläche des WU-Bauwerkes unterbunden wird. Neben diesen geplanten Maßnahmen kommen abdichtende geotechnische Injektionen auch bei Störungen und Havarien während des Tunnelbaus oder bei der Baugrubensicherung zum Einsatz.

Für abdichtende geotechnische Injektionen kommen Zementsuspensionen, zum Teil mit Bentonit oder unter Verwendung von Feinstzementen, Acrylatgele sowie Harze oder Schäume auf der Basis von Polyurethan und Silikat zum Einsatz. Kombinationen sind möglich. Die Injektionsstoffe haben neben der abdichtenden Wirkung den meist erwünschten Nebeneffekt einer Verfestigung des injizierten Gebirges.

Umfang und Randbedingungen der geotechnischen Injektionen sind in der Regel auf der Basis von Voruntersuchungen [23] festzulegen.

Zur Festlegung geeigneter Injektionsstoffe und zur Erfolgskontrolle können Wasserdruckversuche (WD-Versuche) – auch als Lugeon-Tests oder Wasserabpressversuche bezeichnet – durchgeführt werden. Dabei wird in einen durch Packer abgesperrten Abschnitt eines Bohrlochs Wasser eingepresst. Druck und verpresste Wassermenge werden gemessen. Das Verhältnis von Verpressdruck und verpressbarer Wassermenge ist ein Maß für die Durchlässigkeit des Gebirges. Es lassen sich mit dem WD-Test unter Baustellenbedingungen Vergleichswerte der Durchlässigkeit über die Bohrlochtiefe sowie vor und nach Abdichtungsinjektionen gewinnen. Die Anwendung setzt eine ausreichende Stabilität des Bohrlochs zur Verankerung der Packer voraus. Im Lockergestein sowie in stark gestörttem Festgestein ist diese meist nicht gegeben. Das Ergebnis des WD-Tests wird in der Einheit Lugeon (LU) angegeben, wobei 1 Lugeon einen Wasserverlust von einem Liter je Minute und Meter Bohrlochstrecke bei einem Druck von 10 bar (1 MN/m<sup>2</sup>) beschreibt [43]:

$$1 \text{ LU} = 1 \frac{l}{\text{min} \cdot m} \quad \text{bei } p = 10 \text{ bar}$$

Zur Vergleichbarkeit der Messergebnisse müssen die einbezogenen Bohrungen den gleichen Durchmesser (meist 100 mm) aufweisen. Der WD-Test liefert relativ grobe Ergebnisse mit entsprechend begrenzter Aussagegenauigkeit. Deshalb wird der Test in der Regel mit anderen Prüfverfahren (Bohrkernbewertung, Kamerabefahrung der Bohrlöcher, Auswertung Vorinjektionsprotokolle etc. [23]) kombiniert.

Abdichtungsinjektionen im Lockergestein werden meist über verrohrte Bohrungen realisiert. Die Bohrgeräte und die Bohrausrüstung werden in Abhängigkeit von der Bohrlochgeometrie und den geologischen Verhältnissen gewählt.

In die Bohrungen werden Manschettenrohre eingebracht, die in Abständen von meist 0,33 m bis 0,5 m Austrittsöffnungen mit Rückströmsicherung (Ventile) besitzen. Der Ringraum zwischen Manschettenrohr und Verrohrung wird mit einer Mantelmischung auf Zement- und Bentonitbasis aufgefüllt, während die Bohrrohre gezogen werden. Über Doppelpacker kann anschließend die Injektion jeweils in dem von den Packern abgesperrten Abschnitt ausgeführt werden. Möglich ist auch die Injektion von der Bohrlochsohle beginnend unter Verwendung von Einfachpackern.

In rammbarem Baugrund besteht die Möglichkeit, statt der Bohrlöcher eingerammte Verpresslanzen zur Injektion zu nutzen.

Die Injektionsparameter sind so zu wählen, dass dem Injektionsverfahren entsprechend Klüfte, Hohlräume, Poren oder die Grenzfläche zwischen Bauwerk und Boden durch den Injektionsstoff gefüllt und abgedichtet werden. Eine Baugrundverdrängung sowie das Aufbrechen des Gebirges durch den Injektionsdruck sind bei Abdichtungs injektionen zu vermeiden.

Abdichtende geotechnische Injektionen sind häufig mit erheblichem Materialeinsatz verbunden. Es besteht die Möglichkeit, dass der flüssige Injektionsstoff während der Injektion Druck auf größere Flächen bestehender Bauwerke ausübt und dadurch Verformungen von Bauwerksteilen, wie z. B. Hebungen verursacht. Abhängig von Planungsvorgaben sind deshalb zur Kontrolle geeignete Messeinrichtungen, z. B. elektronische Tachymeter oder Schlauchwaagen mit elektronischer Messwerterfassung vorzusehen. Sind die Messwerte online und/oder in Echtzeit auf der Baustelle verfügbar, können auf ihrer Grundlage Abbruchkriterien für die Injektion in Form von zulässigen Bauteilverschiebungen definiert werden.

## 6 Umweltschutz

### 6.1 Allgemeines

Da bei der Injektion das injizierte Material mit dem Boden und dem Grundwasser in Kontakt treten kann, müssen die gesetzlichen Grundlagen zum Schutz der Umwelt beachtet werden. Der Gesetzgeber gibt diesbezüglich im Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (WHG) mit § 8 (1) klare Vorgaben für die Benutzung eines Gewässers (zu „Gewässer“ zählt nach § 2 (1) Pkt. 3 auch das Grundwasser) [6]. Diese Benutzung, zu der nach § 9 (1) Pkt. 4 auch „das Einbringen und Einleiten von Stoffen in Gewässer“ gehört, bedarf einer behördlichen Erlaubnis oder Bewilligung [6]. Eine Erlaubnis darf nur dann erteilt werden, wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften ausgeschlossen ist.

Schleierinjektionen benötigen als einen Bestandteil der späteren Dichtung den an das undichte Bauwerk angrenzenden Baugrund – sie füllen den Porenraum des Bodens. Der Gelschleier hat daher sowohl mit dem Boden als auch direkt oder indirekt mit dem Grundwasser Kontakt. Technisch sind die Gele eigentlich den Bauprodukten zur Trockenlegung von feuchten Mauern gemäß Bauregelliste C, lfd. Nr. 1.11 zuzuordnen. Sie fallen aber durch den seit der Ausgabe 2005/1 formulierten Zusatz: „... ausgenommen Produkte, die im direkten Kontakt mit Grundwasser oder Boden aushärten“ aus dieser Liste heraus. Da die Gele für Schleierinjektionen im direkten Kontakt mit Grundwasser oder Boden aushär-

ten, müssen sie im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) ihre Umweltverträglichkeit nachweisen.

Die Umweltverträglichkeit ist sowohl für den flüssigen Ausgangszustand als auch über die Erhärtungsphase hinaus für den ausreagierten Injektionsstoff nachzuweisen. Grundlage für den Nachweis bilden die Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser [10]. Neben der chemischen Zusammensetzung der Stoffe werden die im jeweils vorgesehenen Anwendungsfall durch Einwirkung von Wasser eluierbaren Inhaltsstoffe und deren mögliche Auswirkung auf die Beschaffenheit von Boden und Grundwasser bewertet. Die Bewertung umfasst zwei Stufen.

Stufe 1 des Nachweises beinhaltet die Ermittlung und Bewertung aller Inhaltsstoffe. Dazu werden die Inhaltsstoffe anhand der Rezeptur ermittelt und hinsichtlich der nachfolgenden Ausschlusskriterien bewertet:

- gesetzliche Verwendungsverbote und Beschränkungen
- Einsatz von *persistenten* organischen Stoffen
- Einsatz von krebserzeugenden, erbgutverändernden oder reproduktionstoxischen Stoffen
- Vermeidung von Stoffen, die mit „N“, „T+“ und „T“ gekennzeichnet werden müssen

In Stufe 2 der Beurteilung der Umweltverträglichkeit werden die mobilisierbaren Inhaltsstoffe ermittelt und bewertet. Die Eluate werden über praxisnahe Laborversuche gewonnen, mit denen sich die Freisetzungsraten der ökologisch relevanten Stoffe feststellen lassen. Der dazu verwendete Versuchsaufbau, der den praktischen Fall einer Abdichtung im Baugrund nachbilden soll, ist in [42], Bild 15.8 schematisch dargestellt. Das Wasser strömt an einem unter definierten Bedingungen hergestellten Injektionskörper vorbei. Es nimmt dabei Substanzen auf, die während der Injektion der Flüssigkomponenten, während der Reaktion und anschließend vom erhärteten Gelsandgemisch abgegeben werden.

An den Eluat werden zeitabhängig allgemeine (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Geruch, Färbung, Trübung) und stoffliche Parameter (TOC-Gehalt = Gehalt an „Total Organic Carbon“ u. a.) ermittelt. Aus den drei Eluatfraktionen mit den höchsten TOC-Werten wird ein Mischeluat hergestellt. An diesem Mischeluat und an einer Eluatfraktion, bei der der TOC auf den Ausgangswert des umströmenden Wassers zurückgegangen ist, werden aquatische ökotoxikologische Untersuchungen durchgeführt. Grundsätzlich sollten die allgemeinen Parameter und der pH-Wert innerhalb von 28 Tagen auf die Ausgangswerte des umströmenden Wassers abgeklungen sein. Gehalte an  $\text{TOC} \geq 20 \text{ mg/l}$  erfordern den Nachweis der biologischen Abbaubarkeit der organischen Inhaltsstoffe.

Die aquatischen Ökotests dürfen in bestimmten Verdünnungsstufen (G-Werte) der Eluate keine toxische Wirkung zeigen. Im Einzelnen bedeutet das [10]:

- Leuchtbakterien-Luminiszenz-Hemmtest:  $\text{GL} \leq 8$  (Wenn  $\text{GL} > 8$ , muss zusätzlich der Leuchtbakterien-Zellvermehrungshemmtest durchgeführt werden. Wenn hierbei  $\text{GLW} \leq 2$  ist, gilt der Test insgesamt als bestanden).
- Daphnien-Test:  $\text{GD} \leq 8$  (Dieser Wert gilt für Bauprodukte wie z. B. die Schleierinjektionen, die erst nachträglich im Boden und Grundwasser aushärten. Für andere

Bauprodukte gilt  $GD \leq 4$ .) Bei den Ergebnissen muss eine Dosis-Wirkungsbeziehung erkennbar sein. Dazu muss bis zur Verdünnungsstufe 16 getestet werden. Die Auswertung der Tests soll nach 24 h und 48 h erfolgen. Bewertet werden die nach 48 h ermittelten Ergebnisse.

- Algen-Test:  $GA \leq 8$  (Dieser Wert gilt für Bauprodukte wie z. B. die Schleierinjektionen, die erst nachträglich im Boden und Grundwasser aushärten. Für andere Bauprodukte gilt  $GA \leq 4$ .) Höhere GA-Werte werden unter Berücksichtigung der Ergebnisse des biologischen Abbaus bewertet und sind kein alleiniges Ausschlusskriterium.
- Umu- bzw. Ames-Test: Das Eluat darf kein mutagenes Potential aufweisen.

Bei polyurethanbasierten Injektionsstoffen muss zusätzlich am Eluat der TOC-Maximumphase und am Eluat der Abklingphase eine quantitative Aminanalytik durchgeführt werden. Dabei werden die Eluate auf alle Amine mit carcinogenem, mutagenem und reproduktionstoxischem (CMR-) Potential untersucht.

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt nicht die wasserrechtliche Erlaubnis nach § 8 (1) Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [6]. Ein bestimmungsgemäßer Einsatz der Bauprodukte, die nach diesen Grundsätzen zugelassen wurden, führt in der Regel nicht zu einer schädlichen Veränderung des Grundwassers. Die Bewertung der Umweltverträglichkeit von Bauprodukten im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erleichtert daher der Wasserbehörde die Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis bzw. Bewilligung, zumal die Beurteilungsgrundsätze gemeinsam mit der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser erarbeitet worden sind.

Die erteilte allgemeine bauaufsichtliche Zulassung gilt nur für die Injektionsstoffe, die der im Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) hinterlegten Rezeptur entsprechen. Eine Änderung in der Rezeptur bedarf der vorherigen Zustimmung durch das DIBt. Bei einer wesentlichen Änderung der Rezeptur muss ggf. der Nachweis der Umweltverträglichkeit erneut geführt werden. Um zu gewährleisten, dass das Injektionsgel der beim DIBt hinterlegten Rezeptur entspricht, müssen auf der Baustelle vor jeder Injektion durch den Verarbeiter wesentliche Parameter überprüft und dokumentiert werden.

Darüber hinausgehend ist der Nachweis der gleichbleibenden Qualität des Injektionsgels über ein Übereinstimmungszertifikat auf Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle sowie einer regelmäßigen Fremdüberwachung zu führen. Das heißt, der Hersteller des Injektionsgels muss eine in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung beschriebene werkseigene Produktionskontrolle (WPK) durchführen und diese durch eine regelmäßige Fremdüberwachung einer bauaufsichtlich anerkannten Überwachungsstelle überprüfen lassen.

Grundsätzlich besteht nach DIN 4093 [11] auch die Möglichkeit, beim Einsatz von Injektionsstoffen, die im noch nicht ausreagierten Zustand eine Beeinträchtigung des Grundwassers verursachen können, Schutzmaßnahmen (wie z. B. Abpumpen des Grundwassers oder Abschirmen) mit den zuständigen Behörden abzustimmen und ggf. durchzuführen.

## 6.2 Injektionsstoffe

Zum Schutz der Umwelt, insbesondere des Grundwassers, dürfen grundsätzlich nur nicht-toxische, umweltverträgliche Injektionsmaterialien verwendet werden. Die zum Einsatz kommenden Injektionsstoffe müssen daher frei sein von:

- organischen Lösemitteln
- Acrylamid [12]
- N-Methylolacrylamid [12]
- Toluylendiisocyanaten (TDI)
- Phthalatweichmachern

Bei Injektionen in den Baugrund bzw. in das Grundwasser sollte ausgeschlossen werden, dass sich nicht ausreagierte einzelne Bestandteile mit dem Grundwasser vermischen bzw. über Sickerwasser mit dem Grundwasser in Kontakt treten. Es muss im Weiteren ausgeschlossen werden, dass einzelne Bestandteile aus dem ausreagierten Injektionsstoff herausgelöst und ins Grundwasser transportiert werden. Die Materialien müssen so formuliert sein, dass eine hohe Anwendungssicherheit gewährleistet ist.

Bei der Injektion prozessbedingt anfallende Anlaufmischungen, Spülreste und ggf. zum Bauwerkinneren austretender Injektionsstoff müssen aufgefangen und fachgerecht entsorgt werden.

Am 1. Juni 2007 trat die Europäische Verordnung Nr. 1907/2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH = Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals) in Kraft. Ziel der REACH-Verordnung ist es, Informationen über alle in der Europäischen Union bewegten Stoffe zu erhalten, die in einer Größenordnung von mehr als einer Tonne pro Jahr und Hersteller produziert bzw. aus dem Nicht-EU-Ausland importiert werden. Dabei werden die Chemikalien hinsichtlich ihrer Wirkung auf Mensch und Umwelt entlang des gesamten Produkt- und Anwendungszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung bewertet. Neu ist hierbei, dass durch die REACH-Verordnung die Datenerbringung vom Staat auf den Hersteller/Importeur verschoben wurde. Es gilt: „Ohne Daten kein Markt“ (Art. 5, REACH-VO).

Die Registrierung der Einzelstoffe erfolgt zentral bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) in Helsinki und wird durch nationale Behörden kontrolliert. In Deutschland sind dies die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), das Umweltbundesamt (UBA) sowie das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). Abhängig von der produzierten/importierten Menge pro Jahr und Hersteller eines Einzelstoffes gelten verschiedene Fristen zur Registrierung. Spätestens jedoch zum 01.06. 2018 müssen alle bisher in der EU bewegten Stoffe mit einer produzierten/importierten Menge von mehr als einer Tonne bei der ECHA registriert sein. Die Registrierung erfolgt nur, wenn alle erforderlichen Daten eines Stoffes in dem entsprechenden Registrierungsdossier vorliegen. Dieses Dossier enthält neben den Hersteller-/Importeur- und Stoffdaten u. a. die Einstufung und Kennzeichnung, die Leitlinien für die sichere Verwendung, physikalische, toxikologische und ökotoxische Daten sowie einen Stoffsicherheitsbericht (wenn die produzierte/importierte Menge > 10 t pro Jahr und Registrant ist).

Im Rahmen der Stoff-Registrierung müssen für alle als gefährlich eingestuften Chemikalien sichere Schwellenwerte (DNELs, Derived No Effect Levels, und PNECs, Predicted No Effect Concentrations) aus den Informationen zu den Substanzeigenschaften hergeleitet werden. Sichere Schwellenwerte beschreiben Konzentrationen oder Dosen, unterhalb derer keine schädlichen Effekte durch den Stoff für Mensch und Umwelt erwartet werden.

Expositionsszenarien beschreiben für die Bereiche Umwelt, Arbeitsplatz und Verbraucher, unter welchen Bedingungen mit dem Stoff sicher umgegangen werden kann. Sie enthalten vor allem Informationen zu den sicheren Verwendungsbedingungen, die abhängig vom Verwendungsrisiko unterschiedlich detailliert sind. Es wird der vollständige Lebenszyklus – von der Herstellung über die Verwendung bis zur Entsorgung – eines Stoffes betrachtet.

Die Hersteller von Injektionsstoffen gehören meist zu der Gruppe der nachgeschalteten Anwender (Downstream User), da sie meistens Formulierer sind, die ihre Produkte aus zugelieferten Stoffen zusammensetzen. Bezieht der nachgeschaltete Anwender Produkte von außerhalb der EU, hat er sich bei seinem Vorlieferanten zu vergewissern, dass die von ihm bezogenen Produkte vorregistriert oder registriert wurden. Anhand der Sicherheitsdatenblätter für gefährlich eingestufte Rohstoffe muss der nachgeschaltete Anwender überprüfen, ob seine Verwendungen durch die Registrierung seines Vorlieferanten abgedeckt sind. Ansonsten kann er dem Rohstofflieferanten die Verwendung seiner Rohstoffe mitteilen oder eine eigene Sicherheitsbewertung durchführen. Die Durchführung der Sicherheitsbewertung durch den Downstream User muss der ECHA mitgeteilt werden. Auf Basis der Informationen der Vorlieferanten erstellen die Formulierer konsolidierte erweiterte Sicherheitsdatenblätter für ihre bauchemischen Formulierungen. Insbesondere bei den Injektionsstoffen ist sorgfältig zu prüfen, ob die REACH-Szenarien Wasserkontakt dauerhaft und die Verarbeitung durch professionelle Verarbeiter abgedeckt werden. Alle diese Angaben werden dem Endanwender für einen sicheren Umgang mit dem Endprodukt mitgeteilt

Der Endanwender (professioneller Verarbeiter) der Injektionsstoffe ist gemäß der REACH-Verordnung ebenfalls ein nachgeschalteter Anwender. Er muss Produkte, für die ein erweitertes Sicherheitsdatenblatt übermittelt wurde, unter den im Sicherheitsdatenblatt beschriebenen Bedingungen verwenden. Darüber hinaus ergeben sich für ihn keine weiteren Pflichten aus der REACH-Verordnung.

Der *fachkundige Ingenieur* sollte das Vorliegen der Sicherheitsdatenblätter gemäß REACH-Verordnung für den gewählten Injektionsstoff auf der Baustelle überprüfen.

## 7 Dokumentation

Der Umfang der Dokumentation muss vor Arbeitsbeginn in der Planungs- und Ausschreibungsphase vom *fachkundigen Ingenieur* festgelegt werden. In Abhängigkeit von Größe und Besonderheiten der Injektionsbaustelle kann die Protokollierung in angemessenem Umfang auch vom Planer vorgegeben werden. Der *fachkundige Ingenieur* hat weiterhin festzulegen, wie die Daten zu erfassen sind. Neben der elektronischen Bereitstellung von Daten zur digitalen Weiterverarbeitung ist in besonderen Fällen bei kleineren Bauvorhaben auch die schriftliche Aufzeichnung der Injektionsdaten ausreichend.

Nachfolgende Kriterien können für die Dokumentation gefordert werden:

- Prüfplan mit den Prüfergebnissen
- Abweichungen von den Planungsvorgaben
- Anzahl der gesetzten Packer, zeichnerische und/oder fotografische Darstellung des Bohrrasters
- Tag der Verpressung
- Lage, Richtung, Durchmesser der Bohrungen
- Bohrlochtiefen
- Bauteil- und Umgebungstemperatur
- Temperatur des Injektionsmaterials
- Mischungsverhältnis und Reaktionszeit des Materials
- Art und Menge des Verpressmaterials unter Angabe der Chargennummer
- Verlauf der Injektion (Packerkontakt während der Injektion)
- Materialverbrauch pro Injektionsstelle, -stufe und -phase
- Injektionsdauer pro Injektionsstelle, -stufe und -phase
- Verpressdruck ( $p_{\min}$ ,  $p_{\max}$ )
- Volumenstrom ( $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$ )
- evtl. Bauwerksverformungen
- Vermerke zur Überprüfung und Funktionskontrolle der Injektionstechnik sowie der Geräte zur Dosierung und Mischung der Komponenten

Die Forderung zur Dokumentation weiterer Parameter ist nicht ausgeschlossen.

## Teil II Injektionsstoffe

### 1 Allgemeines

Nachfolgend werden die derzeit marktüblichen und häufig eingesetzten Injektionsstoffe für abdichtende Injektionen beschrieben. Injektionsstoffe auf Basis von Zement werden im Folgenden nicht näher erläutert, da sie für abdichtende Injektionen nur eingeschränkt verwendet werden können. Auf Sonderprodukte und Kombinationsprodukte unterschiedlicher Rohstoffbasen, über die keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen, wird ebenfalls nicht näher eingegangen.

Sogenannte Weichgele auf Basis von Natrium- oder Kaliumwasserglas, die im Wesentlichen für temporäre Abdichtungen und Verfestigungen eingesetzt werden, sind nicht Gegenstand dieses Merkblatts. Diese Injektionsstoffe sind nicht geeignet für die dauerhafte Abdichtung von Bauwerken.

#### 1.1 Injektionsstoffe auf Acrylatbasis

Injektionsstoffe auf Acrylatbasis, die durch Reaktion mehrerer Komponenten eine Gelstruktur ausbilden, werden im Allgemeinen unter dem Begriff „Acrylatgele“ zusammengefasst. Diese Produkte bestehen bis auf wenige Ausnahmen aus Stammkomponente, Katalysator, Initiator und Wasser.

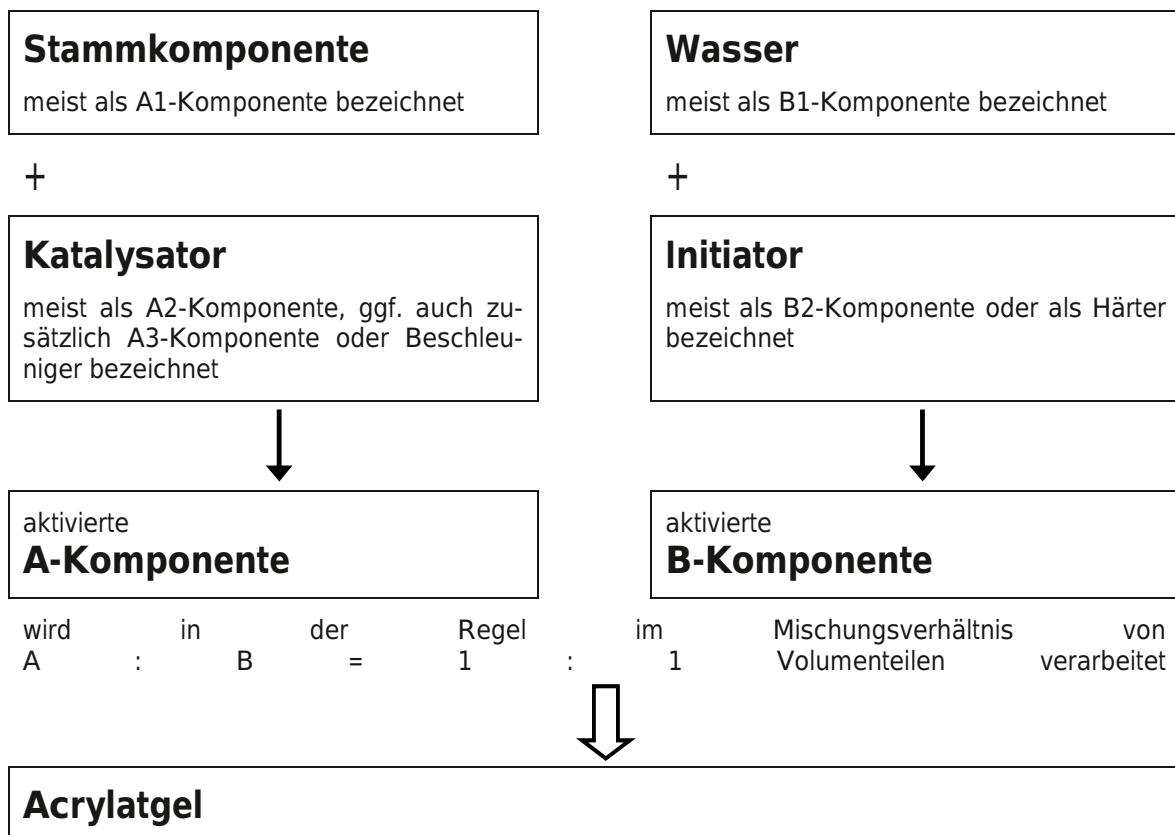
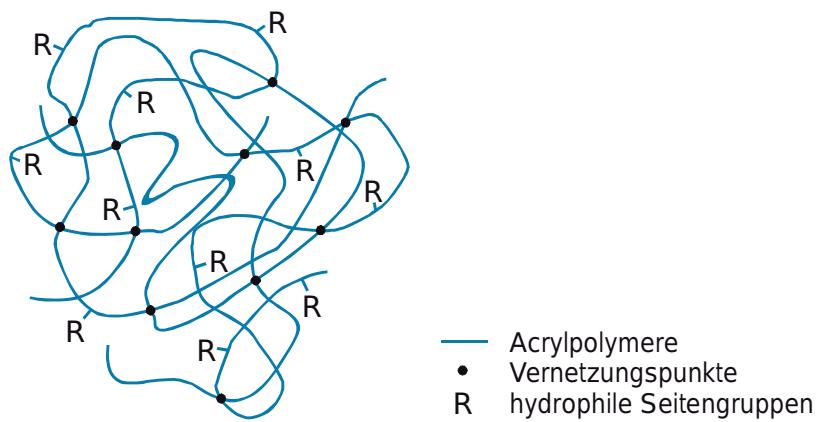


Abb. II/ 1: Mischungsschema für Acrylatgele

Die Stammkomponente enthält wasserlösliche Derivate (Abkömmlinge) der Acryl- und Methacrylsäure. Früher aus Kostengründen eingesetzte Acrylamide dürfen nicht mehr verwendet werden, da das Acrylamid ökologische und gesundheitliche Beeinträchtigungen hervorrufen kann. Als Katalysatoren (Beschleuniger) werden entweder Amine oder Acryl- und Methacrylsäure-Derivate eingesetzt, die der Stammkomponente vor der Verarbeitung zugesetzt werden. Diese Mischung stellt die verarbeitungsfertige A-Komponente dar. Als Initiatoren (Härter) werden wasserlösliche, radikalbildende Salze verwendet, die in Wasser (in der Regel in der gleichen Menge wie die A-Komponente) gelöst werden. Der in Wasser gelöste Initiator ergibt die verarbeitungsfertige B-Komponente, siehe Abb. II/1.

Beide Komponenten werden mit geeigneten Injektionspumpen im vom Hersteller vorgegebenen Mischungsverhältnis (in der Regel 1:1 Volumenteile) verarbeitet.

Bei der Reaktion der beiden niedrigviskosen Komponenten entsteht ein weich- bis gummielastischer Gelkörper. Die Gelstruktur entsteht durch Anlagerung von Wasser an die hydrophilen Seitengruppen der bei der Reaktion entstehenden Acrylpolymeren.



**Abb. II/2: Schematische Darstellung der Gelstruktur**

Das Wasser wird in der Gelstruktur gebunden und ist im Gelkörper nicht mehr frei beweglich. Dadurch tritt die für Bauwerke negative Eigenschaft der Volumenzunahme von Wasser bei Frost (Sprengwirkung) nicht auf.

In diesem Zusammenhang wird darauf verwiesen, dass die Begriffe „Acrylatharze“ sowie „Acrylharze“ für die oben genannten Produkte nicht verwendet werden sollten, da sie irreführend sind. Mit diesen Begriffen werden üblicherweise lösungsmittelhaltige, wasserfreie, meist relativ starre Produkte beschrieben, die z. B. auf befahrenen Flächen als Oberflächenschutzsysteme eingesetzt werden.

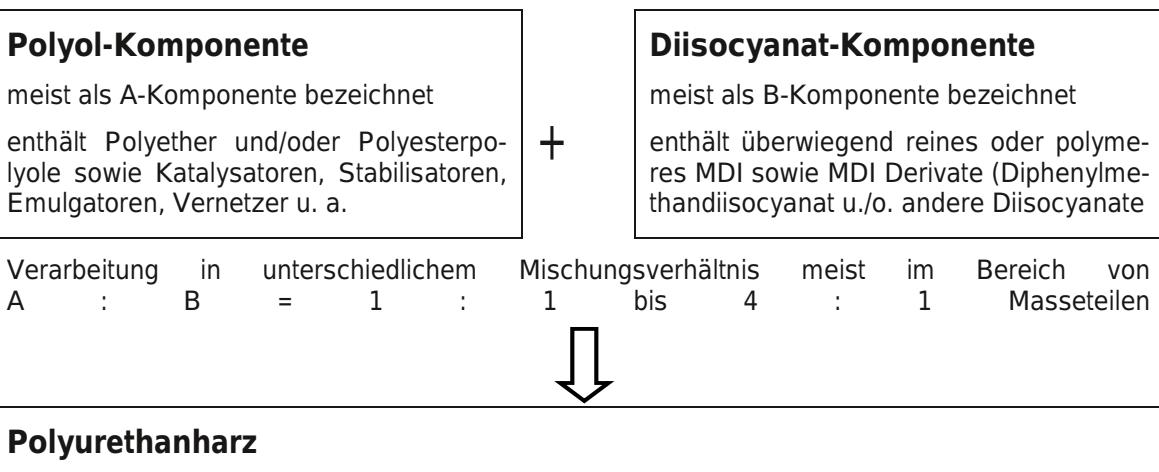
Acrylatgele werden für *Schleierinjektionen*, *Mauerwerksinjektionen*, *Bodenverfestigungen*, *Bewegungsfugensanierungen* sowie unter geeigneten Randbedingungen auch für *Riss- und Hohlraumverpressungen* eingesetzt. Aufgrund der niedrigen Mischungsviskosität von Acrylatgelen (ähnlich der Viskosität von Wasser) können feinste Strukturen verpresst werden.

Für die beiden zuletzt genannten Anwendungsmöglichkeiten erzielt der Einsatz von *gefüllten Acrylatgelen* bessere Ergebnisse. In diesen Produkten wird das Wasser der B-Komponente durch wässrige Polymerdispersionen ersetzt. Dadurch wird das Schrumpfverhalten deutlich eingeschränkt und die Anhaftung deutlich verbessert.

## 1.2 Injektionsstoffe auf Polyurethanbasis

Bei Injektionsstoffen auf Polyurethanbasis wird zwischen Polyurethanharzen, Polyurethanschäumen und Polyurethangelen unterscheiden. Die Hauptrohstoffe für die unterschiedlichen Produkte sind Polyole und Diisocyanate bzw. Polyisocyanate. Zusätzlich werden verschiedene Additive wie Katalysatoren, Inhibitoren, Vernetzer, Emulgatoren, Schaumstabilisatoren u. a. eingesetzt.

Polyurethanharze sind zweikomponentige Produkte, die im Wesentlichen aus Polyolen in der A-Komponente und Polyisocyanaten in der B-Komponente bestehen. In der Regel muss die Anzahl der reaktiven Hydroxyl-Gruppen der Polyole in der A-Komponente mit der Anzahl der reaktiven Isocyanat-Gruppen in der B-Komponente übereinstimmen. Als Reaktionsprodukte entstehen Polyurethanelastomere, die je nach Rohstofftyp elastisch bis starr sein können.



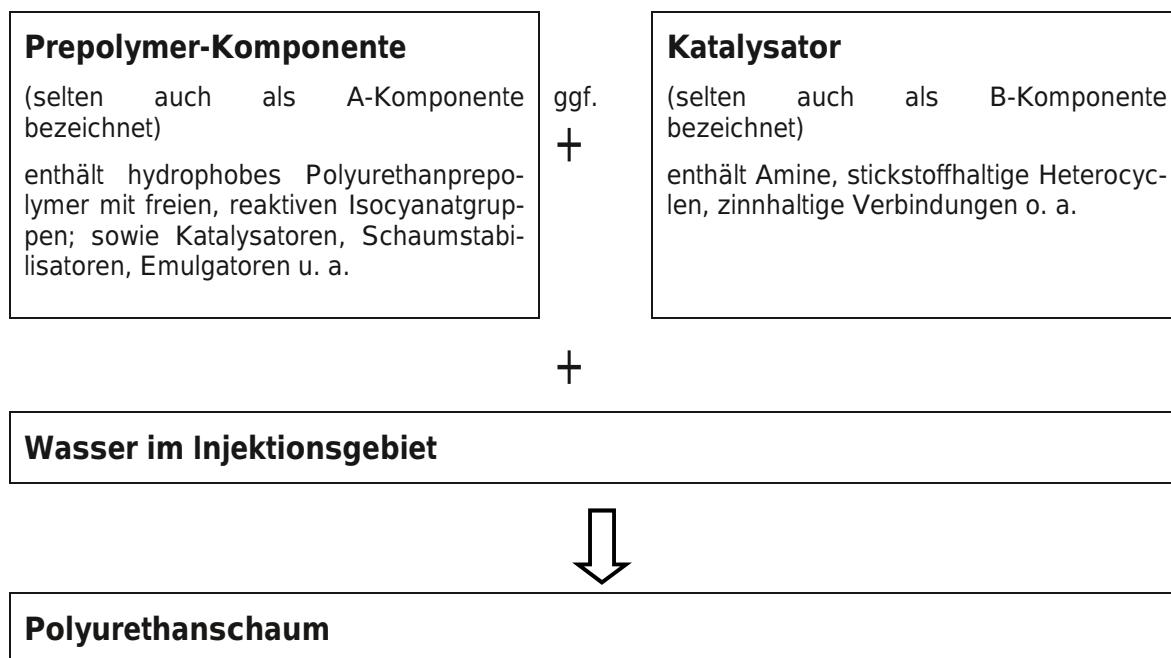
**Abb. II/3: Mischungsschema für Polyurethanharze**

Werden Polyurethanharze in wasserführende Risse injiziert, gewinnt neben der Reaktion von Diisocyanaten mit Polyolen die chemisch bevorzugte Reaktion der Isocyanate mit Wasser an Bedeutung. Es entsteht Harnstoff bzw. Polyharnstoff unter Abspaltung von Kohlendioxid, wodurch Bläschen gebildet werden. Im ausreagierten Zustand resultieren daraus Poren. Diese Reaktion kann sich in zweierlei Hinsicht auswirken. Zum einen werden die mechanischen Eigenschaften des Endproduktes beeinflusst. Zum anderen geht eine übermäßige Porenbildung zu Lasten der Dichtheit. Polyurethanharze müssen die Forderung nach Elastizität bei reaktivem Einfluss von Wasser sowie die Forderung nach einer begrenzten, die Dichtheit sichernden Porenstruktur erfüllen.

Polyurethanschäume sind einkomponentige Produkte auf Basis von Polyurethan-Prepolymeren, die in geringem Maße noch freie, reaktive Isocyanat-Gruppen enthalten. Die Pre-

polymere werden hergestellt, indem man Polyisocyanate in leichtem Überschuss mit Polyolen reagieren lässt, so dass nicht alle Isocyanat-Gruppen mit Hydroxyl-Gruppen abreakieren. Die freien Isocyanat-Gruppen reagieren mit dem Wasser im Injektionsbereich unter Abspaltung von Kohlendioxid. In der Rezeptur enthaltene Stabilisatoren verhindern das Zusammenfallen des durch die Kohlendioxid-Abspaltung entstehenden Schaums.

Zu der Hauptkomponente, die die Prepolymere enthält, werden häufig Katalysatoren als weitere Komponente zugesetzt, mit denen die Reaktionszeit des PUR-Schaums beeinflusst werden kann. Das Reaktionsergebnis ist nicht einheitlich, da im Allgemeinen keine Informationen über den reaktiv wirksamen Wassergehalt im Injektionsbereich vorliegen.

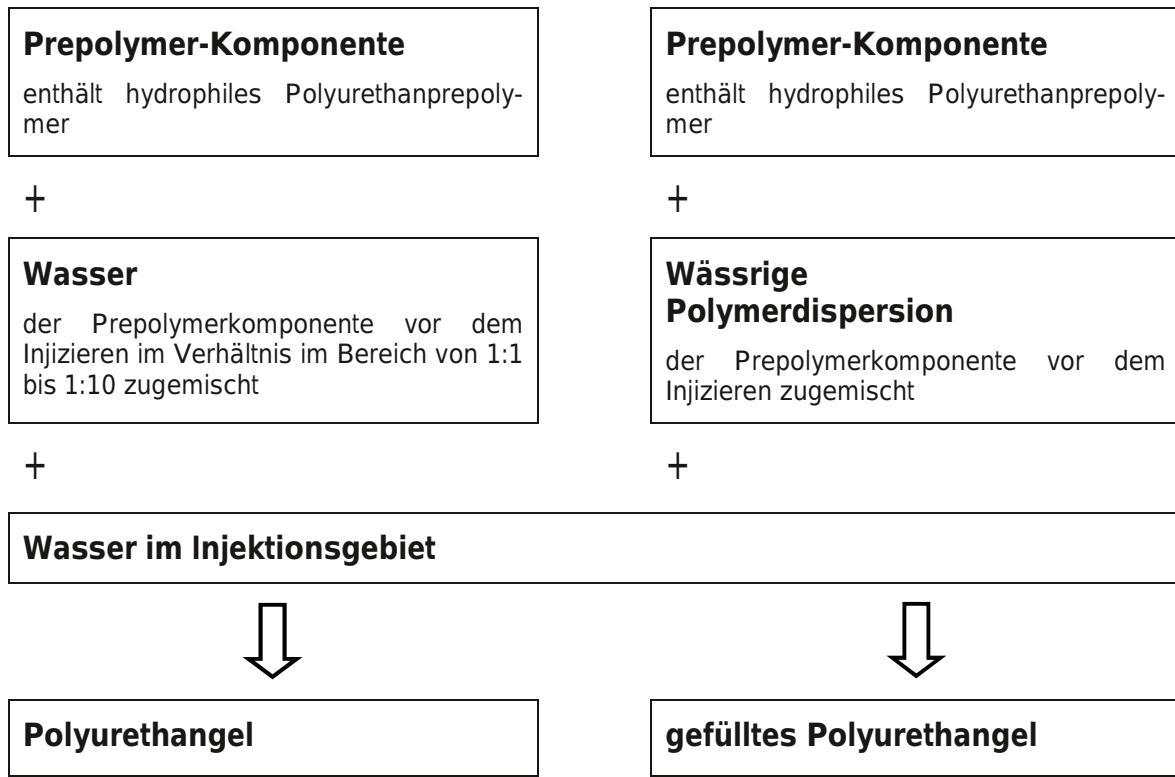


**Abb. II/4: Mischungsschema für Polyurethanschäume**

Polyurethanschäume vergrößern ihr Volumen durch Porenbildung um ein Vielfaches. Es entstehen offenzellige bzw. wasserdurchlässige Strukturen. Injektionen mit Schäumen sind daher nur temporär wirksam und nicht dauerhaft abdichtend, da die Rezeptur des Schaums nicht an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden kann. Deshalb ist für die sichere Abdichtung eines wasserführenden Risses die Verpressung mit einem Polyurethanharz notwendig.

Polyurethanegele stellen eine Sonderform der Polyurethan-Schäume dar. Deshalb werden sie teilweise in der Literatur auch als Polyurethan-Schaumgele bezeichnet. Der Unterschied zu den Polyurethanschäumen besteht darin, dass das Polyurethan-Prepolymer mit wasserliebenden (hydrophilen) Seitengruppen modifiziert ist. Werden diese besonderen Polyurethan-Prepolymere in wassergefüllte Bereiche injiziert, kommt es neben der Schaumreaktion (unter Abspaltung von Kohlendioxid) zu einer Reaktion der hydrophilen Seitengruppen mit dem vorhandenen Wasser. Diese Reaktion überwiegt im Vergleich zur Schaumreaktion, weshalb das gesamte Reaktionsprodukt als Gel betrachtet werden kann.

Zur Verarbeitung wird dem Prepolymer eine bestimmte Menge an Wasser zugesetzt, wobei die Reaktionszeit und die Endeigenschaften eingestellt werden können. Dabei sollten die zugesetzten Mengen an Wasser nicht zu groß sein, um eine unnötige Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des Gelkörpers zu verhindern. Das Reaktionsergebnis ist nicht einheitlich, da man im Allgemeinen keine Informationen über den reaktiv wirksamen Wassergehalt im Injektionsbereich hat.



**Abb. II/5: Mischungsschema für Polyurethanegele**

Eine Sonderform der Polyurethan-Gele bilden die sogenannten „gefüllten Polyurethan-Gele“. Diese Produkte bestehen aus zwei Komponenten, wobei neben der Prepolymer-Komponente eine zweite Komponente, die wässrige Polymerdispersionen enthält, verwendet wird. Die Verarbeitung erfolgt in der Regel im Mischungsverhältnis von 1:1 (Volumenteile).

### 1.3 Injektionsstoffe auf Epoxidharzbasis

Epoxidharze werden seit vielen Jahren zur kraftschlüssigen Injektion von Rissen in Betonbauwerken verwendet. Sie gehören zu den am besten geregelten Produkten, obwohl sie mengenmäßig deutlich weniger eingesetzt werden als Polyurethanharze und Acrylate.

Injektionsstoffe auf Epoxidharzbasis sind zweikomponentige Produkte, bestehend aus einer Harz- und einer Härterkomponente, die in verschiedenen Mischungsverhältnissen angeboten werden. Die Harzkomponente enthält meistens Bisphenol-A-Epoxidharze, die allein oder im Gemisch mit Bisphenol-F-Harzen eingesetzt werden. Da diese Epoxidharze

in reiner Form entweder eine feste oder sehr hoch viskose Konsistenz haben, werden sie mit geeigneten Reaktivverdünnern auf eine für die Injektion geeignete Viskosität eingestellt. Als Reaktivverdünnner werden häufig Glycidether verwendet.

Als Härter werden überwiegend Amine eingesetzt, die durch Reaktion der enthaltenen Aminogruppen mit den in der Harzkomponente enthaltenen reaktiven Oxiran-Gruppen die Härtung (Vernetzung) der Epoxidharze bei Raumtemperatur ermöglichen. Die verwendeten Härter haben überwiegend eine geringe Viskosität, die zusammen mit der meist höher viskosen Harzkomponente die Mischviskosität für die Injektion günstig beeinflusst.

Das ausgehärtete Epoxidharz zeichnet sich durch eine hohe Festigkeit aus, die deutlich über der des Betons liegt. Damit eignen sich Epoxidharze sehr gut für kraftschlüssige Injektionen von Rissen in Betonbauwerken.

Elastische Epoxidharze spielen in der Injektion von Bauwerken nur eine untergeordnete Rolle, da Polyurethane und Acrylate deutlich besser für das dehnfähige Füllen von Rissen im Beton geeignet sind.

## **1.4 Injektionsstoffe auf Silikatharzbasis**

Prinzipiell bestehen Injektionsstoffe auf Silikatharzbasis aus einer A-Komponente, die Natrium- oder Kaliumwasserglas-Lösungen enthält, und einer B-Komponente auf Basis von polymeren Diisocyanaten oder Polyurethan-Prepolymeren.

Zusätzlich enthalten die Formulierungen eine Reihe von Additiven, die auch bei Polyurethan- und Epoxidharzen zum Einsatz kommen können, wie z. B. Katalysatoren, Weichmacher, Verdünner, Vernetzer, Schaumstabilisatoren etc.

Nach der homogenen Vermischung der Einzelkomponenten entsteht eine stabile, viskose Emulsion, die kein Wasser mehr aufnehmen kann, sondern es vor sich her schiebt. Dabei verläuft die Reaktion beider Komponenten, indem sich die Isocyanate mit den Wasserglas-Lösungen zu einem Gemisch aus Polyharnstoff und Polyisocyanurat umsetzen, während gleichzeitig aus den Wasserglas-Lösungen feste Silikate gebildet werden. Die entstehenden Feststoffe durchdringen sich gleichmäßig und bilden so das feste bis zäh-elastische Silikatharz. Abhängig von der Formulierung können aber auch schäumende Silikatharze (Silikatschäume) entstehen.

Die Silikatharze wurden ursprünglich für Stabilisierungs- und Abdichtungsmaßnahmen im Kohlebergbau entwickelt, da sie gegenüber den sonst üblicherweise verwendeten zäh-elastischen Polyurethanharzen den Vorteil der Schwerentflammbarkeit haben. Silikatharze werden häufig im Bergbau, aber auch im Tief- und Tunnelbau, im Straßen -und Gleisbau sowie in der Kanalsanierung verwendet

## **2 Eignungsnachweise**

### **2.1 Allgemeines**

Injektionsstoffe, die für Abdichtungs injektionen eingesetzt werden, müssen einen Eignungsnachweis besitzen. Der Eignungsnachweis umfasst die nachfolgend beschriebenen Bestandteile:

- *Eignungsprüfungen*
- *werkseigene Produktionskontrolle (WPK)*
- *Fremdüberwachung* als Überprüfung der WPK durch eine anerkannte Prüfstelle.

Für Injektionsstoffe, die in anderen technischen Regelwerken [2], [3], [4] beschrieben sind, gelten die dort getroffenen Bestimmungen.

Für alle nicht aufgeführten Injektionsstoffe, die zu den in Teil I, Abschnitt 1 genannten Abdichtungszwecken eingesetzt werden, sind die in Teil II, Abschnitt 2.3 beschriebenen Prüfungen verbindlich, sofern keine anwendungsbezogene allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorliegt. Wird vom Hersteller mit entsprechenden Prüfberichten geworben, ist er verpflichtet, diese auf Nachfrage dem Bauherrn, Planer oder Verarbeiter in ungekürzter Version zur Verfügung zu stellen. Die vorgelegten Nachweise sollten nicht älter als 5 Jahre sein.

Materialien, die in Kontakt mit Boden und Grundwasser kommen können, müssen den Nachweis ihrer Umweltverträglichkeit mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erbringen.

## 2.2 Geregelte Injektionsstoffe

Für Polyurethanharze, Epoxidharze, Zementleime und Zementsuspensionen ist in Deutschland die Verwendung als Rissfüllstoff geregelt [2], [3], [4], [14]. Acrylatgele für den Einsatz als quellfähige Rissfüllstoffe sind europäisch in [2] genormt. Für andere Abdichtungsanwendungen der vorgenannten Injektionsstoffe existieren keine weiteren Regelwerke.

Tabelle II/1 verweist auf Leistungsanforderungen nach [2], [4] und [14], Tabelle II/2 auf Identifizierungs- und Eignungsprüfungen nach [3] und [4].

**Tabelle II/1: Anforderungen an die Leistungseigenschaften von Rissfüllstoffen**

Injektionsstoff	DIN EN 1504-5 [2]	DIN V 18028 [14]	ZTV-ING [4]
kraftschlüssige Füllstoffe, Rissfüllstoff mit reaktivem oder hydraulischem Polymerbindemittel	Tabelle Tabelle B1 6	Tabelle 1	Teil 3 Abschnitt 5 Punkt 8 Injektion mit Zementleim (ZL-I) oder Zementsuspension (ZS-I) TL/TP FG-ZL/ZS Teil 3 Abschnitt 5 Punkt 7 Injektion mit Epoxidharz (EP-I) TL/TP FG-EP
Dehbare Füllstoffe	Tabelle Tabelle B2 7	Tabelle 2	Teil 3 Abschnitt 5 Punkt 9 Injektion mit Polyurethanharz (PUR-I) TL/TP FG-PUR
quellfähige Füllstoffe	Tabelle Tabelle B3 8	Verwendung nicht vorgesehen	

Für die Verwendung in der Geotechnik finden sich Regelungen für Zement-, Tonzement-, Silikatgel- und Kunstharzinjektionen in [11], [23], [34].

## 2.3 Ungeregelte Injektionsstoffe

### 2.3.1 Prüfungen an Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten

Im Rahmen der *Eignungsprüfung* sind die in Tabelle II/2 aufgeführten Prüfungen für die entsprechenden Injektionsstoffe verbindlich. Alternativ ist auch der Nachweis der entsprechenden Eigenschaften im Sinne der DIN EN 1504-5 [2] zulässig.

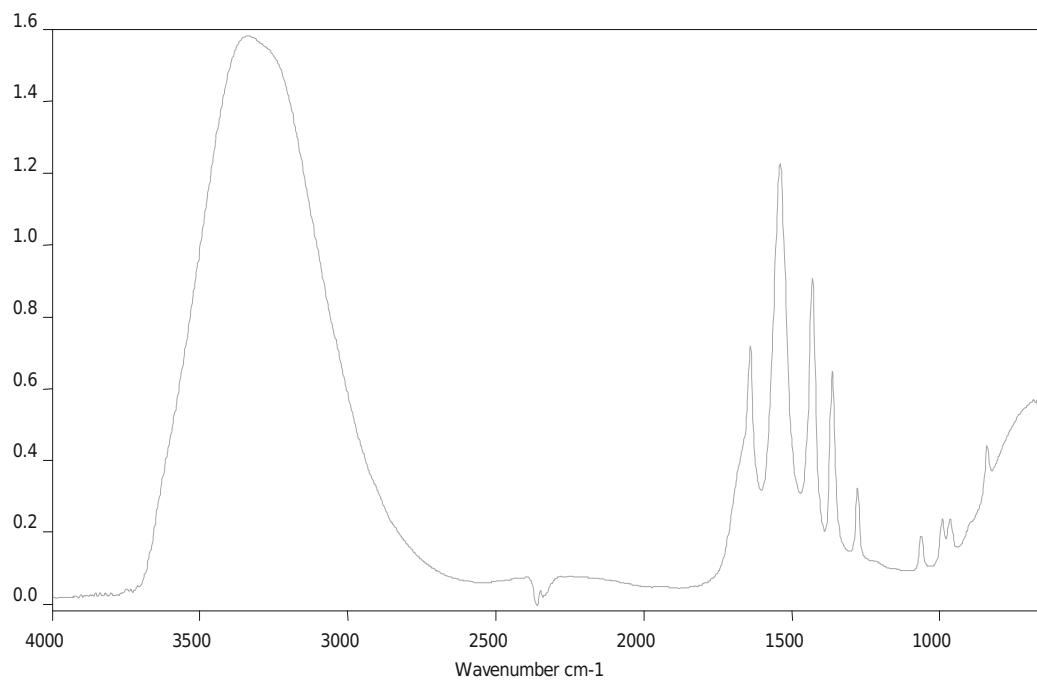
**Tabelle II/2: Identifizierende Prüfungen an Gelen**

Prüfung	Injektionsstoffe auf Acrylatbasis	Injektionsstoffe auf Polyurethan-Basis	Anforderung (zul. Abweichung der WPK-Werte von denen der Erstprüfung)
Infrarotanalyse [15]	an den Einzelkomponenten sowie an ausgehärteter Mischung nach Trocknung	am Ausgangsstoff sowie an ausgehärteter Mischung nach Trocknung	Lage und relative Intensität der Hauptabsorptionsbanden müssen denen des Referenzspektrums entsprechen
Brechungsindex [16]	an der Stammkomponente und am Katalysator	entfällt	0,05 %
Dichte [17], [18]	an Einzelkomponenten	an Einzelkomponenten	± 3 %
Topfzeit/Reaktionszeit [2]	bei niedrigster Verarbeitungstemperatur und bei 21 °C ; für alle angegebenen Mischungsverhältnisse	bei niedrigster Verarbeitungstemperatur und bei 21 °C; für alle angegebenen Mischungsverhältnisse	± 20 %
Viskosität [19]	Mischung ohne reaktionsstartende Komponente bei 21 °C	an der Polyurethan-komponente	± 20 %
Isocyanatgehalt [20]	entfällt	an der isocyanathaltigen Einzelkomponente	± 10 %
Gehalt an flüchtigen und nicht flüchtigen Bestandteilen [21]	an der ausgehärteten Mischung	an der ausgehärteten Mischung	± 20 %

Einige Kenngrößen und ihre Bestimmung werden im Folgenden näher erläutert.

### 2.3.1.1 Infrarotanalyse

Bei der IR-Spektroskopie wird die Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung aus dem infraroten Spektralbereich mit einer Probe untersucht. Wenn ein Stoff mit IR-Strahlung durchstrahlt wird, so werden einige Frequenzen dieser IR-Strahlung absorbiert, andere werden durchgelassen. Trägt man die prozentuale Absorption oder Durchlässigkeit des untersuchten Stoffes in Abhängigkeit von der Wellenzahl oder Wellenlänge auf, so erhält man das stoffspezifische IR-Spektrum.



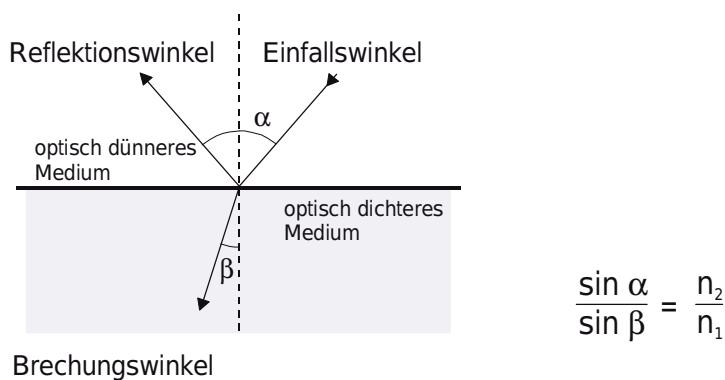
**Abb. II/6: Infrarotspektrum eines Acrylatgels**

Die im Spektrum enthaltenen Schwingungsfrequenzen (Banden) erlauben weitgehende Rückschlüsse auf die Struktur der enthaltenen Moleküle und ermöglichen deren qualitative und quantitative Bestimmung.

Das IR-Spektrum wird von der getrockneten, ausgehärteten Mischung sowie von den Einzelkomponenten aufgenommen. Im Protokoll sind das untersuchte Mischungsverhältnis, die Dauer der Trocknungszeit und die gewählte Vorbereitungsmethode anzugeben. Neben der Prüf norm [15] sind die Hinweise in [3], Teil 4, Abs. 2.2.5 zu beachten.

### 2.3.1.2 Brechungsindex

Die Refraktometrie ist ein optisches Messverfahren zur Messung des Brechungsindexes (Brechungszahl) z. B. von Flüssigkeiten. Die Messmethode beruht auf der unterschiedlichen Brechung, die ein einfallender Lichtstrahl in verschiedenen Medien erfährt und setzt klare Flüssigkeiten voraus.



**Abb. II/7: Prinzip der Refraktometrie**

Der Brechungsindex  $n_2$  ergibt sich nach der angegebenen Formel durch Messung des Einfalls- und Brechungswinkels von Licht, das durch eine Flüssigkeit strahlt. Dabei wird der Brechungsindex  $n_1$  der Luft als 1 gesetzt.

Der Brechungsindex hängt u. a. von der Temperatur sowie bei Lösungen von der Konzentration ab. Hier gilt im Allgemeinen, dass der Brechungsindex bei Lösungen mit steigender Konzentration zunimmt. Brechungsindizes werden in der Regel mit Abbe-Refraktometern gemessen und stellen eine einfache, aussagekräftige Messgröße für die Qualität einer Produktionscharge dar.

Der Materialhersteller hat die zulässige Schwankungsbreite des Brechungsindexes im Analysenzertifikat anzugeben. In der Regel sind Schwankungen in der 3. bis 4. Stelle nach dem Komma zulässig. Die eingesetzten Geräte müssen eine Anzeige der 3. Stelle ermöglichen. Die 4. Stelle wird geschätzt.

### 2.3.1.3 Topfzeit und Härtungsverlauf

Topfzeiten werden in Abhängigkeit von Temperatur und möglichen Mischungsverhältnissen sowohl bei der niedrigsten Anwendungstemperatur als auch bei 21 °C ermittelt. Da die Temperatur der Ausgangsprodukte einen wesentlichen Einfluss auf die Topfzeit hat, ist es notwendig, Topfzeiten auch bei anderen Temperaturen zu ermitteln und im Verarbeitungsdatenblatt anzugeben.

Als Topfzeit wird nach DIN 1504-5 [2] die Zeit definiert, die der frisch angemischte Injektionsstoff benötigt, um

- bei Rissfüllstoffen mit reaktivem Polymerbindemittel einen Temperaturanstieg von 15 K (oder den höchstmöglichen Temperaturanstieg, falls er weniger als 15 K beträgt) zu erreichen; oder
- eine Viskosität von 1.000 mPa·s zu erreichen;
- bei Rissfüllstoffen mit einem hydraulischen Bindemittel eine festgelegte Verringerung der Eindringstabilität zu erreichen.

Für schnellreaktive und schäumende Systeme auf PU- und/oder Silikatbasis eignet sich die vorangehend beschriebene Bestimmung der Topfzeit in der Regel nicht. Hier werden stattdessen folgende Verfahren angewendet:

- Schnellreaktive, nicht schäumende Systeme: Fadenzugbestimmung [22]
- Schäumende Systeme: Bestimmung von Schäumbeginn und Schäumende [22]

Der Viskositätsanstieg kann mit einem Rotationsrheometer oder -viskosimeter ermittelt werden. Dazu werden unter temperierten Bedingungen die Einzelkomponenten in einem Reaktionsgefäß vermischt. In der Mischung befindet sich ein zylindrischer Drehkörper, der mit einer bestimmten Drehzahl (Umdrehungen pro Minute) vom Rheometer angetrieben wird. Der Widerstand, den die untersuchte Probe dem Drehkörper entgegengesetzt, wird zeitabhängig gemessen. Außerdem wird über die gesamte Messzeit die Temperatur ermittelt. Es ergeben sich entsprechende Viskositäts-Zeit-Diagramme (Abb. II/8) sowie Temperatur-Zeit-Diagramme (Abb. II/9), aus denen sich der Härtungsverlauf sowie die Topfzeit entnehmen lassen.

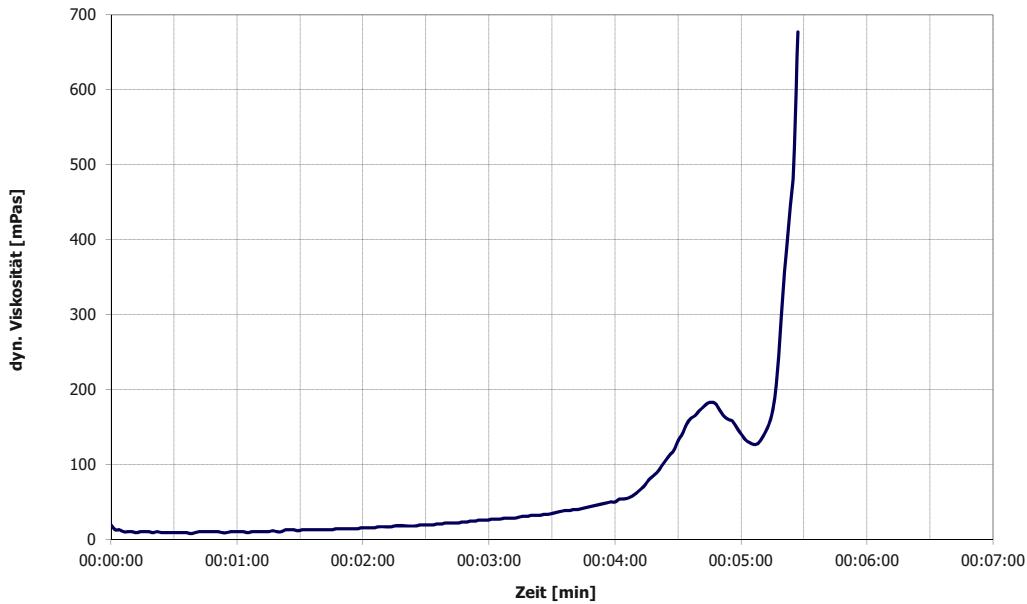
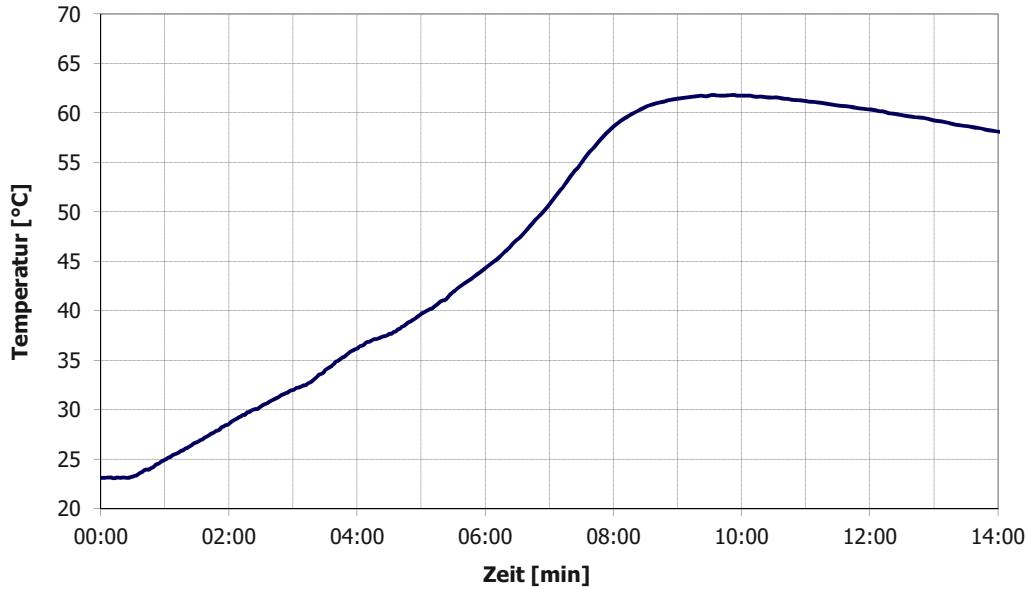


Abb. II/8: Beispiel für ein Viskositäts-Zeit-Diagramm eines Acrylatgels

### 2.3.1.4 Viskosität

Unter Viskosität versteht man die Eigenschaft von Flüssigkeiten, der gegenseitigen laminaren Verschiebung zweier benachbarter Schichten einen Widerstand entgegenzusetzen. Man spricht bei der Viskosität eines Stoffes häufig auch von der Zähigkeit bzw. der inneren Reibung. Die Viskosität kann mit Hilfe von Viskosimetern oder Rheometern gemessen werden.

Zur Ermittlung der Viskosität des injizierfähigen, vorgemischten Materials werden bei schnell reagierenden Systemen wie z. B. Acrylatgel die Messungen ohne Zugabe der reaktionsstartenden Salzkomponente durchgeführt.



**Abb. II/9: Beispiel für ein Temperatur-Zeit-Diagramm zum Reaktionsverlauf eines Acrylatgels**

## 2.3.2 Funktionseigenschaften des ausreagierten Bauprodukts

### 2.3.2.1 Allgemeines

Die Funktionsprüfungen an Injektionsstoffen sollen deren Eignung hinsichtlich Reaktionsfähigkeit (Verarbeitbarkeit), Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit nachweisen. Besondere Beachtung muss das Quell- und Schrumpfverhalten von quellfähigen Injektionsstoffen finden. Folgende Eigenschaften sind zu ermitteln:

- Allgemeine Merkmale wie z. B.: Quellen, Schrumpfen, mechanische Stabilität, Verträglichkeit mit Stahl und anderen Kontaktstoffen im Bauwerk
- Dauerhaftigkeit des ausreagierten Produktes unter Umgebungsbedingungen; Beständigkeit gegenüber aggressiven Medien
- Dauerhaft abdichtende Wirkung (Dichtigkeit, ggf. Dehnfähigkeit)
- Injizierfähigkeit

Tabelle II/3 enthält die Prüfungen und die einzuhaltenden Anforderungen.

Für spezielle Anwendungen oder objektabhängig können die in Tabelle II/3 erläuterten Leistungsanforderungen erhöht werden. Nachfolgend werden die im Einzelnen erforderlichen Prüfungen näher erläutert.

**Tabelle II/3: Leistungsanforderungen**

Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderungen	Anwendungsbereiche*
maximale Wasseraufnahme bei Wasserlagerung, Beständigkeit bei Wasserlagerung	Teil II, Abschnitt 2.3.2.2 sowie DIN EN 1504-5, Tabelle 8, Zeilen 4, 6 und 7 [2]	zeitlich begrenzte Wasseraufnahme	1 bis 5
Masseänderung durch Lufttrocknung und Wasserlagerung	Teil II, Abschnitt 2.3.2.2 sowie DIN EN 1504-5, Tabelle 8, Zeilen 4, 6 und 7 [2]	reversibles Quellverhalten	1 bis 5
Verträglichkeit mit Beton	DIN EN 1504-5, Tabelle 7 bzw. 8, Zeile 8 [2]	alkalibeständig	2 bis 5
Beständigkeit bei Einwirkung von angreifenden Flüssigkeiten	Teil II, Abschnitt 2.3.2.3	beständig, keine überdurchschnittliche Massezunahme, keine Ablösungen etc.	in Abhängigkeit vom Beanspruchungsfall
Biegezugverhalten im Ausgangszustand und nach Wasserlagerung	Teil II, Abschnitt 2.3.2.4	Abweichungen ≤ 20 %	1
Wasserdichtigkeit Injektionsstoff	DIN EN 1504-5, Tabelle 8, Zeile 1 [2]	wasserdicht bei $2 \times 10^5$ Pa	3 bis 5
Wasserundurchlässigkeit Gel-Sand-Gemisch	Teil II, Abschnitt 2.3.2.5	$k \leq 10^{-9}$ m/s	1
Wirkung auf Bewehrungsstahl	Teil II, Abschnitt 2.3.2.6	keine korrosive Wirkung auf Bewehrungsstahl $pH \geq 7$	4
Haftung und Dehnbarkeit	DIN EN 1504-5, Tabelle 7, Zeile 1 [2]	Dehnung > 10 %	4
Wasserdichtheit unter zyklischer Verformungsbeanspruchung	Teil II, Abschnitt 2.3.2.7	wasserdicht während Verformungsbeanspruchung unter $2 \times 10^5$ Pa	4 und 5
Frost-Tau-Wechselbeständigkeit	Teil II, Abschnitt 2.3.2.8	beständig	1 bis 5

- \*Anwendungsbereiche:
- 1 Schleierinjektion
  - 2 Flächeninjektion in Bauteile
  - 3 Flächeninjektion in Bauteil- oder Bauwerkszwischenräume
  - 4 Riss- und Hohlräuminjektion
  - 5 Injektion von Bewegungsfugen

### 2.3.2.2 Quellverhalten

Zur Erfassung des zeitlichen Ablaufes des Quellprozesses und des Verhaltens unter Wasserwechselbedingungen werden an allen quellfähigen Injektionsstoffen Quellversuche in Trinkwasser durchgeführt.

Dazu werden prismatische Probekörper mit Abmessungen von  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$  hergestellt. Neben der Standardmischung sind auch von möglichen Sondermischungen (maximaler bzw. minimaler Salzgehalt) jeweils drei Probekörper anzufertigen. Zur Feststellung des Quellverhaltens ist die Massezunahme bei Flüssigkeitslagerung zu bestimmen. Dazu werden die Probekörper hergestellt und bis zum Beginn der Prüfung (spätestens 24 h nach der Herstellung) mit einer Folie vor Austrocknung geschützt.

Vor Beginn der Einlagerung erfolgt die Bestimmung der Ausgangsmasse  $m_0$  mit einer Genauigkeit von 0,1 g. Im Verlauf der 1. Einlagerungswoche ist die Masseänderung täglich zu ermitteln. Anschließend ist ein Messintervall von 3 Tagen ausreichend. Je Prisma sind bei Verwendung von Einlagerungsbehältern der Abmessungen  $20 \times 15 \times 10 \text{ cm}^3$  etwa 0,5 l Einlagerungsflüssigkeit erforderlich. Besonderheiten wie Verfärbungen der Einlagerungsflüssigkeit und Geruchsbildung sind zu notieren und im Prüfprotokoll anzugeben.

Die Flüssigkeitslagerung ist bis zur Massekonstanz (Masseänderung innerhalb von 48 h  $\leq 2\%$ ) durchzuführen. Für Anwendungen, bei denen quellfähige Injektionsstoffe austrocknen können, ist das wiederholte Quellvermögen bei wechselnder Trocknung und Wasserlagerung jeweils bis zur Massekonstanz über mindestens 3 Zyklen mit beschleunigter Trocknung im Normalklima 23/50-2 nachzuweisen. Dazu werden die Probekörper nach der 1. Wasserlagerung bis zur Massekonstanz in Normalklima 23/50-2 getrocknet. Dieser Zyklus wird insgesamt dreimal durchlaufen. Im Anschluss an die beendete Einlagerung werden die Probekörper einem Biegezugversuch (siehe Teil II, Abschnitt 2.3.2.4) unterzogen und die ermittelten mechanischen Kennwerte den Ausgangswerten gegenübergestellt.

### 2.3.2.3 Beständigkeit gegenüber angreifenden Flüssigkeiten

Zum Nachweis der Beständigkeit gegenüber Flüssigkeiten, die auf die Abdichtung einwirken können, sind Einlagerungsversuche wie in Teil II, Abschnitt 2.3.2.2 beschrieben mit entsprechenden Prüfflüssigkeiten, die den Anwendungsfall abbilden, durchzuführen.

### 2.3.2.4 Biegezugverhalten

Mit der Prüfung des Biegezugverhaltens sollen die mechanischen Eigenschaften der quellfähigen Injektionsstoffe im Ausgangszustand und nach Flüssigkeitslagerung vergleichend beurteilt werden. Die Prüfung erfolgt an prismatischen Probekörpern mit Abmessungen von  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$  im Dreipunkt-Biegeversuch, sowohl an reinen Gelprüfköpern als auch an Gel-Prüfsandgemischen. Als Prüfsand sind folgende Prüfsande zu verwenden:

- Gel-Prüfsand Nr.1: Körnungslinie 0,06 – 0,6 mm fein
- Gel-Prüfsand Nr.2: Körnungslinie 0,20 – 2,0 mm grob

Von jeder Mischung sind pro Versuch jeweils drei Probekörper anzufertigen. Die Herstellung der Gelprismen erfolgt durch Eingießen der fertigen Mischung in die Formen. Für die

Herstellung der Gel-Prüfsandprobekörper werden die Prismenformen mit dem jeweiligen trockenen Prüfsand gefüllt. Anschließend wird das angemischte Gel in die Formen gegossen und dabei der Sand durch Stochern entlüftet.

Die Prüfung ist nach 24-stündiger Aushärtung unter folgenden Randbedingungen durchzuführen:

- Stützweite: 140 mm
- Temperatur: 21 °C
- Durchmesser der Belastungsschneide: 25 mm
- Belastungsgeschwindigkeit: 0,1 mm/s

Die Belastung in einer Prüfmaschine erfolgt bis zum Auftreten des ersten Anisses. Im Prüfbericht sind die maximale Durchbiegung und die rechnerische Biegezugsspannung (lineare Spannungs-Dehnungs-Beziehung) anzugeben. Ferner ist das Versagensbild zu beschreiben. Als Ergebnis sind die auf die Stützweite bezogene Durchbiegung in Prozent (Verformbarkeit) und die Biegezugsspannung anzugeben.

### 2.3.2.5 Wasserundurchlässigkeit

Diese Prüfung ist für alle Injektionsstoffe erforderlich, die für *Schleierinjektionen* eingesetzt werden. Sie wird an zylindrischen Probekörpern aus Gel-Prüfsand-Gemisch mit Längsfuge durchgeführt. Dazu werden zunächst vier 40 cm lange, druckbeständige Polymethylmethacrylat-Rohre (PMMA-Rohre) mit einem Durchmesser von 140 mm mit Prüfsand (2 x Sand „fein“ und 2 x Sand „grob“) gefüllt und der Sand definiert verdichtet.

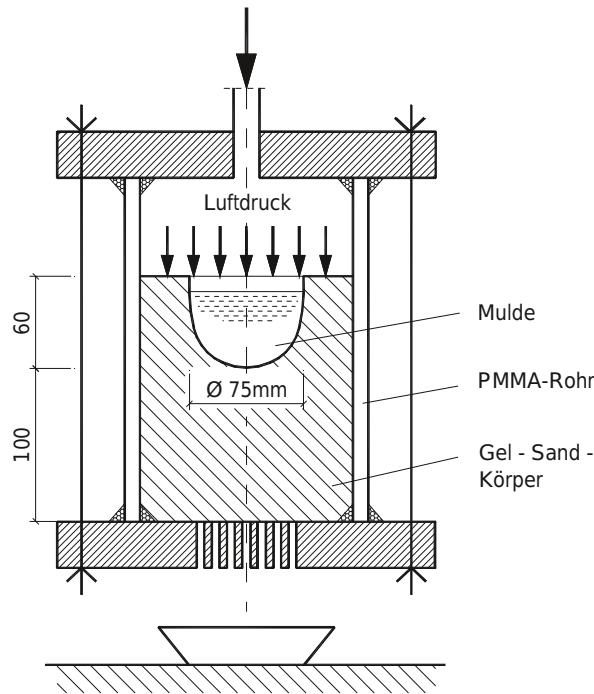
Die Füllung des Sandes mit dem zu prüfenden Gel erfolgt über Injektion der senkrecht stehenden Säulen mit einer 2-Komponenten-Injektionspumpe mit einer Fördermenge, die eine Säulenfüllung innerhalb von etwa 2 min ermöglicht. Vor und nach der Injektion werden die Säulen gewogen, um Aussagen über den erreichten Füllgrad zu ermöglichen.

Nach Erhärtung des Gels werden die Probekörper ausgeschalt. Sie erhalten mittig einen Längsschnitt und werden erneut in ein PMMA-Rohr eingeschalt. Der verbleibende Freiraum wird mit dem entsprechenden Prüfsand gefüllt und verdichtet.

Anschließend erfolgt unter den gleichen Bedingungen die erneute Injektion der Säulen mit Gel, so dass sich im Probekörper eine Arbeitsfuge an der Schnittstelle zwischen bereits erhärtetem Gel-Sand-Gemisch und dem neu injizierten Gel ergibt. Aus den vollständig ausgehärteten Gel-Sand-Körpern lassen sich nach dem Ausschalen durch Schnitte in Querrichtung jeweils zwei Probekörper gewinnen. Somit stehen von jedem zu prüfenden Typ vier Probekörper zur Verfügung.

Für die Wasserundurchlässigkeitsprüfung werden die auf 20 cm Länge geschnittenen zylindrischen Gel-Prüfsand-Probekörper nach 3-tägiger Wasserlagerung an der Oberseite mit einer Mulde (Durchmesser ca. 75 mm, Tiefe 60 mm) versehen und anschließend über einen Zeitraum von 100 h mit Wasser bei einem Prüfdruck von 1 bar beaufschlagt (Abb. II/10). Es ist sicherzustellen, dass über die gesamte Versuchsdauer kein Druckabfall stattfindet und die Mulde ständig mit Wasser gefüllt ist. Während der Beanspruchung von

100 Stunden wird die durch den Probekörper in dieser Zeit tretende Wassermenge gravimetrisch bestimmt.



**Abb. II/10: Prinzipskizze der Wasserundurchlässigkeitssprüfung**

### 2.3.2.6 Korrosionsgefährdung von Bewehrungsstahl

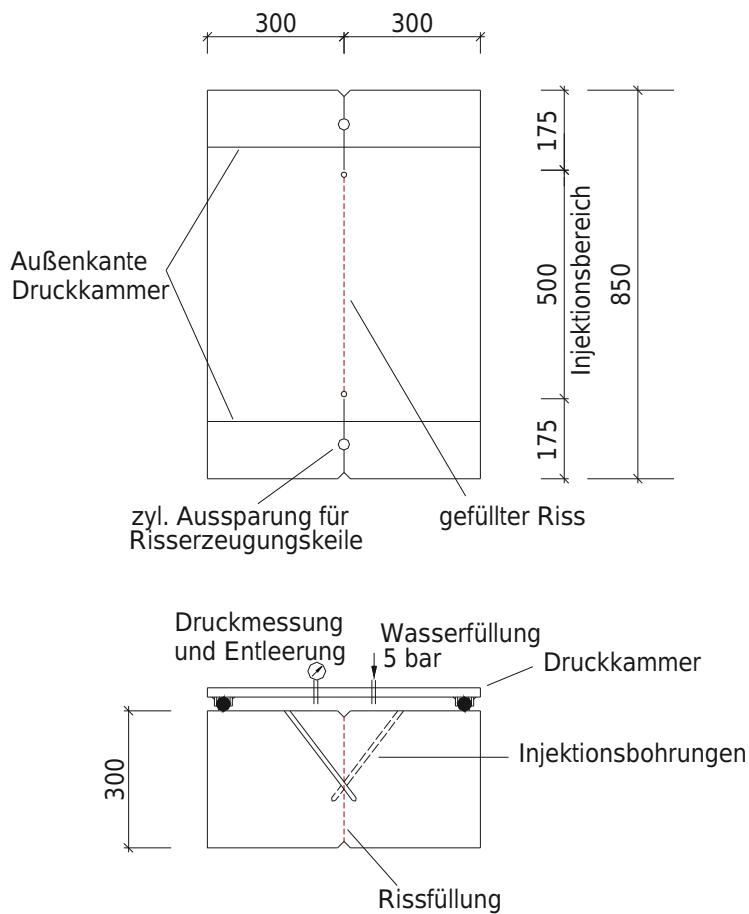
Die Korrosionsgefährdung von Bewehrungsstahl bei Kontakt mit organischen Gelen ist über anwendungstechnische Untersuchungen zu beurteilen. Geeignete Untersuchungen sind im Forschungsbericht FE 15.459/2008/DRB [45] mit Bezug auf DIN EN 480-14 [29] beschrieben. Für jede anzuwendende Mischung sind 3 Prüfkörper im Rissmodell bzw. einer Gelschicht um den Stahl (Lollipop-Versuch) zu untersuchen. Die im Ergebnis entstehenden zeitabhängigen Stromdichtekurven müssen sich nach einem kurzzeitigen Anstieg kontinuierlich einem Mindestwert annähern. Die maximal zulässige gemittelte Stromdichte darf innerhalb von 24 h den in den Zulassungsgrundsätzen des DIBt festgelegten Grenzwert nicht mehr übersteigen und muss nach 48 h weiter abgefallen sein.

Neben diesem Nachweis darf der pH-Wert der flüssigen Mischung und des ausreagierten Injektionsstoffes einen Wert von pH = 7 nicht unterschreiten.

### 2.3.2.7 Wasserdichtheit unter zyklischer Verformungsbeanspruchung

Injektionsstoffe, die für die Füllung von Rissen, Fugen, Hohlräumen oder als Abdichtungsschichten eingesetzt werden, müssen eine Mindestdehnfähigkeit bei gleichzeitiger Dichtheit besitzen.

Diese Eigenschaft wird an zwei Sollrissprüfkörpern mit den Abmessungen 0,85 x 0,60 x 0,30 m<sup>3</sup> aus Beton C25/30, Größtkorn 16 mm, Beton mit hohem Wassereindringwiderstand geprüft (Abb. II/11).



**Abb. II/11: Prinzipskizze Probekörper; oben: Draufsicht, unten: Schnitt**

Wenige Tage nach dem Betonieren der beiden Prüfkörper erfolgt das Anreißen und die Rissaufweitung auf Breiten von 0,3 mm bzw. 1,0 mm. Für das Aufreißen der Betonquerschnitte werden spezielle Keile benutzt. Die Arretierung der aufgeweiteten Risse erfolgt über horizontal um die Probekörper gespannte Traversen. Über den Rissen werden zur Kontrolle der Rissbreite jeweils zwei Messuhren montiert.

Die Injektion der Prüfkörper erfolgt 14 Tage nach der Risszeugung entsprechend den Vorgaben für den zu prüfenden Injektionsstoff über Bohrpacker, die den Riss etwa in der Mitte des Prüfkörpers kreuzen (siehe auch Abb. II/11 unten). Der Feuchtezustand der Risse muss dem kritischsten Zustand (feucht, nass oder drucklos wasserführend) entsprechen.

Nach der produktspezifischen Erhärtung des Injektionsstoffes beginnt die Wasserdruckbeanspruchung des injizierten Risses über einen Zeitraum von 72 Stunden. Zum Aufbringen der Wasserdruckbeanspruchung dient eine Druckkammer aus Stahl, die auf der Stirnseite des Prüfkörpers über dem Riss befestigt ist. Der vereinbarte Prüldruck (i. d. R. 2 bar) wird durch allmähliche Steigerung des Wasserdrucks innerhalb einer Stunde aufgebracht und während des gesamten Prüfzeitraums konstant gehalten. Gleichzeitig erfolgt die Auf-

weitung und Stauchung der beiden unterschiedlich breiten Risse in zehn Zyklen zu je mindestens 48 h um jeweils mindestens 10 %.

Nach Abschluss der 10 Zyklen wird die Druckkammer abgebaut und die Prüfkörper werden einer Trocknungsphase von 30 Tagen unterzogen. Im Anschluss an die Trocknungsphase erfolgt eine erneute Wasserdruckbeanspruchung mit dem Maximaldruck über einen Zeitraum von 14 Tagen.

### **2.3.2.8 Frost-Tau-Wechselverhalten**

Bei Verwendung von Injektionsstoffen für Abdichtungen in frostgefährdeten Bereichen ist die Frost-Tau-Wechselbeständigkeit im Verlauf von 25 jeweils 24-stündigen Zyklen an prismatischen Prüfkörpern des jeweiligen Injektionsstoffes zu überprüfen. Ein Zyklus umfasst die Lagerung von drei wassergesättigten Prismen (Massezunahme bei Wasserlagerung  $\leq 3\%$  innerhalb von 48 Stunden) über 8 h bei Raumtemperatur und anschließend 16 h bei in der Regel  $T = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Andere Temperaturen können in Abhängigkeit vom Anwendungsfall vereinbart werden. Die Beurteilung erfolgt visuell auf Formänderungen, Ablösungen etc. sowie anhand einer Biegezugprüfung nach Teil II, Abschnitt 2.3.2.4. Die im Anschluss an die Frost-Tau-Wechselbeanspruchung ermittelte Verformbarkeit darf nicht mehr als 20 % von der im Ausgangszustand ermittelten abweichen.

Alternativ darf dieser Nachweis auch gemäß [30] geführt werden. Dazu ist eine Rissbreite von 0,5 mm bei einem definierten Feuchtezustand einzustellen. Die mit dem Injektionsstoff gefüllten Rissprüfkörper sind im Anschluss 25 jeweils eintägigen Temperaturwechseln zwischen  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} / +40\text{ }^{\circ}\text{C}$  auszusetzen. Abschließend werden Haftung und Dehnbarkeit oder alternativ die Dichtigkeit bei einem Wasserdruck von  $p = 0,5$  bar nachgewiesen.

## **2.4 Grundwasserhygienische Anforderungen**

Neben den identifizierenden Prüfungen muss für alle Injektionsstoffe, die in den Baugrund injiziert werden und damit potenziell in Kontakt mit Grundwasser kommen können, der Nachweis der Umweltunbedenklichkeit sowohl für die flüssige Mischung als auch für den erhärteten Injektionsstoff erbracht werden.

Bei Injektionen in den Baugrund muss die durch die Injektionsstoffe hervorgerufene ökologische Beeinflussung beurteilt werden, siehe auch Teil I, Punkt 6 „Umweltschutz“. Dafür müssen durch den Hersteller die vom Gesetzgeber geforderten Nachweise erbracht werden. Grundlage für die Nachweisführung bzw. die Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser sind die Festlegungen des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin im Rahmen der dafür aufgestellten Zulassungsgrundsätze.

Bewertet werden die chemische Zusammensetzung der Bauprodukte, ihre Wirkung im ausreagierten Zustand und die jeweils im vorgesehenen Anwendungsfall durch Einwirkung von wasserlöslichen Inhaltsstoffen möglichen Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Boden und Grundwasser. Zur Ermittlung der eluierbaren Inhaltstoffe werden Methoden angewandt, welche die Verhältnisse baulicher Anlagen im Boden und im Grundwasser hinreichend genau abbilden und gegebenenfalls zeitabhängige Veränderungen des Bauproduktes berücksichtigen.

Spezielle wasserhygienische Anforderungen bestehen nur für den Einsatz von Injektionsstoffen in Anlagen der Trinkwasserversorgung. Für die diesbezügliche Beurteilung von Injektionsmitteln sind die entsprechenden Leitlinien des Umweltbundesamtes (UBA) heranzuziehen [25], [26], [27]. Injektionsmittel müssen die in den UBA-Leitlinien festgelegten Grenzwerte an „Reparatursysteme für Behälter außerhalb der Hausinstallation mit 1/100 der Oberfläche des Behälters“ für den Kaltwasserbereich (23 °C) erfüllen.

Diese Anforderungen werden geprüft, indem das ausreagierte Injektionsmittel unmittelbar nach der in der Prüfvorschrift vorgegebenen Vorbehandlung (1 h Spülen mit Leitungswasser, 24 h Stagnation mit Versuchswasser bei 23 °C, 1 h Spülen mit Leitungswasser) Ab-spülen mit Versuchswasser in einem vorgegebenen Oberflächen/Volumenverhältnis einem 72-stündigen Kontakt mit Prüfwasser (Trinkwasserqualität) ausgesetzt wird. Der Kontaktversuch, der mit dem gleichen Prüfkörper und erneuertem Prüfwasser zweimal wiederholt wird, gibt Aufschluss, welche Stoffmengen in das Prüfwasser übergehen, ob diese unbedenklich sind und ob die migrierten Stoffmengen geduldet werden können.

## 2.5 Werkseigene Produktionskontrolle (WPK)

Die Durchführung der *werkseigenen Produktionskontrolle* ist eine wichtige Voraussetzung für den Eignungsnachweis. Neben der Eingangskontrolle der Grundrohstoffe und der Überwachung der Produktionsabläufe müssen die an den Endprodukten ermittelten Eigenschaften mit denen im Rahmen der Erstprüfung von einer unabhängigen Prüfstelle ermittelten übereinstimmen. Nur Produktionschargen, deren chemische und physikalische Eigenschaften in der Ausgangskontrolle festgehalten wurden und innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen, dürfen zur Anwendung gelangen.

Die *werkseigene Produktionskontrolle* gibt dem Planer und Verarbeiter die Sicherheit, dass die ausgewiesenen technischen Eigenschaften des Produktes gegeben sind.

Der Umfang der *werkseigenen Produktionskontrolle* ist für geregelte Bauprodukte in den entsprechenden harmonisierten europäischen Normen (hEN) sowie für nicht geregelte Bauprodukte mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung in der Zulassung festgelegt.

## 2.6 Fremdüberwachung

Zusätzlich zur *werkseigenen Produktionskontrolle* muss sich der Hersteller für geregelte Produkte auf der Grundlage des in den entsprechenden harmonisierten europäischen Normen (hEN) bzw. in nationalen Anwendungsnormen (DIN) festgelegten Überwachungssystems sowie für nicht geregelte Bauprodukte mit bauaufsichtlicher Zulassung einer Fremdüberwachung durch eine dafür bauaufsichtlich anerkannte Prüfstelle unterziehen. Umfang, Inhalt und Dokumentation der Fremdüberwachung sind in den entsprechenden Normen und Zulassungen geregelt.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer freiwilligen Fremdüberwachung durch eine fachlich geeignete, bauaufsichtlich anerkannte Prüfstelle, die mindestens einmal jährlich auf der Grundlage von bilateralen Festlegungen die interne Abwicklung der Produktionskontrolle überwacht. Sind alle im Überwachungsvertrag festgelegten Anforderungen erfüllt, erhält der Hersteller ein Zertifikat, das die korrekte Durchführung der *werkseigenen Produktionskontrolle* bestätigt. Die Zertifikate haben im Allgemeinen eine Gültigkeit von einem Jahr.

### 3 Lieferbedingungen

#### 3.1 Lieferform und Verpackung

Gebinde und Verpackung der chemischen Erzeugnisse müssen den Transportvorschriften sowie Verpackungsverordnungen entsprechen. Gefahrgüter im Sinne der Transportvorschriften dürfen nur in den dafür zugelassenen Gebinden transportiert werden.

Die Lieferungen müssen beim Transport von Gefahrgütern äußerlich gut sichtbar mit den entsprechenden Gefahrgutkennzeichnungen versehen werden. Die Lieferpapiere müssen den Lieferschein mit Angabe des für die Gefahrguteinstufung zugrunde liegenden chemischen Stoffes bzw. Gemisches sowie gegebenenfalls die dazugehörigen schriftlichen Weisungen für den Fahrer (früher Unfallmerkblatt) enthalten.

#### 3.2 Kennzeichnung

Die Einstufung und Kennzeichnung des Injektionsstoffes mit Gefahrensymbolen bzw. -piktogrammen muss entsprechend den jeweils gültigen europäischen Richtlinien bzw. Verordnungen durchgeführt werden. Hier findet derzeit eine durchgreifende Veränderung in der Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien statt.

Am 20.01.2009 trat die Verordnung 1272/2008/EG in Kraft. Die auch CLP genannte Verordnung (CLP = Classification, Labelling, Packaging) befasst sich mit der Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen. Sie hebt die bisher gültigen Richtlinien 67/548/EWG (Stoffrichtlinie) und 1999/45/EG (Zubereitungsrichtlinie) auf und ändert die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung).

Die auffälligste Veränderung in der Kennzeichnung der Injektionsstoffe, die durch die Umsetzung der CLP-Verordnung bewirkt wird, ist das schrittweise Verschwinden der seit Jahrzehnten bekannten Gefahrensymbole auf den Etiketten und in den Sicherheits-datenblättern.



**Abb. II/12:** Beispiele für bisherige Gefahrensymbole gemäß RL 67/548/EWG (Stoffrichtlinie) und RL 1999/45/EG (Zubereitungsrichtlinie)

Diese Gefahrensymbole werden durch neue, an die Gefahrgutsymbole (Gefahrzettel) angelehnte, Gefahrenpiktogramme ersetzt.



**Abb. II/13:** Beispiele für neue Gefahrenpiktogramme gemäß CLP-VO (EG) 1272/2008

Außerdem werden die zu den Gefahrensymbolen gehörigen R- und S-Sätze (Risk = Risiko, Safety = Sicherheit) durch H- und P-Sätze (Hazard Statement = Gefahrenhinweis, Precautionary Statement = Sicherheitshinweis), die entsprechenden Gefahrenpiktogrammen zugeordnet sind, ersetzt. Den H- und P-Sätzen werden jeweils die Signalwörter „ACHTUNG“ für die weniger schwerwiegenden Gefahrenkategorien oder „GEFAHR“ für die schwerwiegenden Gefahrenkategorien vorangestellt.

Den Gefahren- und Sicherheitshinweisen nachfolgend müssen die sogenannten Produktidentifikatoren aufgeführt werden. Bei reinen Stoffen wird hier der IUPAC-Name mit der dazugehörigen CAS-Nummer, INDEX-Nummer oder Notifizierungsnummer, wie sie im Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis enthalten ist, aufgeführt. Bei Gemischen muss die Identität aller enthaltenen Stoffe, die zu gesundheits- bzw. umweltschädlichen Effekten beitragen, angegeben werden (maximal 4 Stoffnamen). Diese Angaben müssen auf den Etiketten und in den Sicherheitsdatenblättern gleichlautend vorhanden sein.

Die alte Einstufung und Kennzeichnung nach Stoffrichtlinie 67/548/EWG wurde bereits durch die CLP-Verordnung ersetzt, d. h. seit dem 01.12.2010 müssen alle Einzelstoffe nach CLP-VO eingestuft und gekennzeichnet werden.

Für Zubereitungen (heute: Gemische) gemäß Richtlinie 1999/45/EG darf die alte Gefahrenkennzeichnung bis zum 31.05.2015 verwendet werden. Ab dem 01.06.2015 muss jedoch auch für Stoffgemische zwingend die CLP-VO herangezogen werden. Sie darf allerdings auch für Gemische bereits seit Inkrafttreten zur Einstufung und Kennzeichnung verwendet werden, weshalb in den nachfolgenden Kapiteln ausschließlich auf die Einstufung und Kennzeichnung nach CLP-Verordnung eingegangen wird.

### 3.2.1 Einstufung von Injektionsstoffen allgemein

Injektionsstoffe sind Chemikalien und unterliegen damit den Einstufungs- und Kennzeichnungskriterien der CLP-Verordnung. Ziel der Einstufung ist die Bezeichnung aller physikalischen, chemischen, toxischen und ökotoxischen Eigenschaften eines Stoffes oder Stoffgemisches, die bei gebräuchlicher Handhabung oder Verwendung eine Gefahr darstellen. Die Hersteller oder Vertreiber von Injektionsstoffen sind dafür verantwortlich, dass die entsprechenden Einstufungs- und Kennzeichnungskriterien eingehalten werden.

Andererseits müssen beim Versand von Injektionsstoffen die Kennzeichnungs- und Verpackungskriterien der entsprechenden Transportvorschriften (ADR, RID, ADNR, IMDG, IATA-DGR) beachtet werden. Hierbei werden jeweils die Hauptgefahren und gegebenenfalls auch Nebengefahren durch entsprechende Gefahrensymbole und Gefahrezettel, die auf den Etiketten und Gebinden zu finden sind, besonders hervorgehoben.



Abb. II/14: Beispiele für Gefahrezettel gemäß ADR, RID, ADNR, IMDG-Code und IATA-DGR

Alle diesbezüglich relevanten Daten sowie darüber hinausgehende Informationen über Handhabung, Lagerung, Entsorgung usw. sind im Sicherheitsdatenblatt enthalten, das für jede Einzelkomponente eines Injektionsstoffes vorliegen muss.

Generell ist hier zu beachten, dass alle Gefahrgüter (im Sinne der Transportvorschriften) auch Gefahrstoffe sind, also auch Gefahrenpiktogramme (gemäß CLP-Verordnung) tragen müssen. Aber nicht alle Gefahrstoffe sind auch Gefahrgüter. Ein typisches Beispiel dafür ist die Kennzeichnung der Injektionsstoffe auf Polyurethanbasis. Die isocyanathaltigen B-Komponenten müssen mit 2 Gefahrenpiktogrammen gekennzeichnet werden (s. Teil II, Abschnitt 3.2.3). Sie stellen allerdings kein Gefahrgut im Sinne der Transportvorschriften dar und bedürfen deshalb für den Transport keiner Kennzeichnung mit einem Gefahrzettel.

### 3.2.2 Einstufung der Acrylatgele

Die A1-Komponenten (Stammkomponente), die Acryl- und/oder Methacrylmonomere in wässriger Lösung enthalten, müssen in der Regel in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen nicht oder maximal mit dem Gefahrenpiktogramm „Ausrufezeichen“ (Codierung GHS07) sowie dem Signalwort „ACHTUNG“ gekennzeichnet werden.



Abb. II/15: Gefahrenpiktogramm „Ausrufezeichen“

Hierbei ist die Gefahr meist auf eine reizende Wirkung auf Augen und Haut, die häufig auch mit allergischen Hautreaktionen einhergeht, zurückzuführen. Die A2-Komponenten (Beschleuniger bzw. Katalysator), die Amine oder Methacrylate enthalten, werden in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen entweder gar nicht, mit einem „Ausrufezeichen“ und dem Signalwort „ACHTUNG“ oder mit dem Gefahrenpiktogramm „Ätzwirkung“ (Codierung GHS05) in Kombination mit dem Signalwort „GEFAHR“ gekennzeichnet.



Abb. II/16: Gefahrenpiktogramm „Ätzwirkung“

Die Gefahren, die der Kennzeichnung zu Grunde liegen, können hier sehr unterschiedlicher Natur sein. Abhängig von den Inhaltsstoffen sind reizende, Allergie auslösende, gesundheitsschädliche und ätzende Wirkungen bekannt. Die B-Komponenten (Härter bzw. Initiator) enthalten in der Regel Peroxidisulfate, die zwingend mit den Gefahrenpiktogrammen „Flamme über einem Kreis“ (Codierung GHS03), „Ausrufezeichen“ und „Ge-

sundheitsgefahr“ (Codierung GHS08) in Kombination mit dem Signalwort „GEFAHR“ gekennzeichnet werden müssen.



Abb. II/17: Gefahrenpiktogramme „Flamme über einem Kreis“ und „Gesundheitsgefahr“

Das Gefahrenpotential der B-Komponenten beruht auf brandfördernden bzw. oxidierenden, gesundheitsschädlichen sowie reizenden und Allergie auslösenden Wirkungen.

Im Gegensatz zu den A1-Komponenten sind die B- und teilweise auch die A2-Komponenten Gefahrgüter im Sinne der Transportvorschriften und müssen entsprechend deklariert werden. Hier werden die B-Komponenten mit dem Gefahrzettel der Klasse 5.1 „Entzündend (oxidierend) wirkende Stoffe“ sowie einige marktübliche A2-Komponenten mit dem Gefahrzettel der Klasse 6.1 „Giftige Stoffe“ gekennzeichnet.

### 3.2.3 Einstufung der Polyurethanharze und -schäume

Die Isocyanatgruppen enthaltenden Komponenten der Polyurethanharze und Polyurethanschäume müssen in der Regel mit den Gefahrenpiktogrammen „Ausrufezeichen“ und „Gesundheitsgefahr“ in Kombination mit dem Signalwort „GEFAHR“ gekennzeichnet werden, weil von den entsprechenden Inhaltsstoffen reizende, Allergie auslösende, gesundheitsschädliche und Organ schädigende Wirkungen ausgehen. Außerdem müssen MDI-haltige Produkte (MDI = Methylendiphenyldiisocyanat) mit einem Gehalt  $\geq 1\%$ , zu denen faktisch alle marktüblichen Injektionsstoffe auf Polyurethanbasis zählen, seit dem 01.12.2010 mit dem Gefahrenhinweis „Kann vermutlich Krebs erzeugen“ versehen sein.

Polyolhaltige Komponenten der Polyurethanharze sind teilweise nicht kennzeichnungspflichtig oder sie tragen das Gefahrenpiktogramm „Ausrufezeichen“ in Kombination mit dem Signalwort „ACHTUNG“, weil gesundheitsschädliche Wirkungen beim Verschlucken auftreten können.

Beide Komponenten sind im Allgemeinen keine Gefahrgüter im Sinne der Transportvorschriften.

Für Katalysatorkomponenten, die vorwiegend in Kombination mit Polyurethanschäumen Anwendung finden, sind verschiedene Gefahrenkennzeichnungen möglich, wobei es sich meistens um die Kennzeichnung mit den Piktogrammen „Ausrufezeichen“ mit Signalwort „ACHTUNG“ für gesundheitsschädliche Wirkungen oder „Ätzwirkung“ mit dem Signalwort „GEFAHR“ für ätzende, reizende und Allergie auslösende Wirkungen handelt. Diese Komponenten sind im Allgemeinen Gefahrgüter im Sinne der Transportvorschriften.

### 3.2.4 Einstufung der Epoxidharze

Die Harzkomponenten, die Bisphenol-A- und/oder Bisphenol-F-Epichlorhydrinharze verschiedener Molekulargewichte enthalten, werden mit den Gefahrenpiktogrammen „Ausrufezeichen“ und „Umwelt“ (Codierung GHS09) in Kombination mit dem Signalwort „ACHTUNG“ gekennzeichnet.



**Abb. II/18: Gefahrenpiktogramm „Umwelt“**

Neben der reizenden Wirkung ist auch eine starke Allergie auslösende Wirkung bei Epoxidharzen bekannt. Außerdem gelten sie als giftig mit langfristiger Wirkung für Wasserorganismen.

Die aminhaltigen Härterkomponenten zeigen gesundheitsschädliche, ätzende, Allergie auslösende Wirkungen und sind schädlich für Wasserorganismen, weshalb sie in der Regel mit den Gefahrenpiktogrammen „Ätzwirkung“ und „Ausrufezeichen“ zusammen mit dem Signalwort „GEFAHR“ gekennzeichnet werden. Es sind allerdings auch Härterkomponenten im Markt üblich, die zusätzlich das Gefahrenpiktogramm „Flamme“ (GHS02) tragen, wenn von diesem Material auch eine Entzündlichkeit von z. B. Flüssigkeit und Dampf bei entsprechend niedrigem Flammpunkt vorliegt.



**Abb. II/19: Gefahrenpiktogramm „Flamme“**

Beide Komponenten sind Gefahrgüter im Sinne der Transportvorschriften, wobei die Harzkomponenten mit dem Gefahrzettel der Klasse 9 „Verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände“ gekennzeichnet werden. Für die Härterkomponenten wird beim Transport im Allgemeinen der Gefahrzettel Klasse 8 „Ätzende Stoffe“ verwendet.

### 3.2.5 Einstufung der Injektionsstoffe auf Silikatharzbasis

Die B-Komponenten der silikatharzbasierten Injektionsstoffe enthalten in der Regel MDI-basierte Isocyanatgruppen, weshalb sie genauso eingestuft und gekennzeichnet werden müssen, wie die isocyanathaltigen Komponenten der Polyurethanharze und -schäume.

Die Natron- oder Kaliwasserglas enthaltenden A-Komponenten werden in der Regel mit dem Gefahrenpiktogramm „Ausrufezeichen“ in Kombination mit dem Signalwort „ACHTUNG“ gekennzeichnet, weil von ihnen reizende Wirkungen ausgehen.

Beide Komponenten sind im Allgemeinen keine Gefahrgüter in Sinne der Transportvorschriften.

## Teil III Ausführung, Überwachung und Qualitätssicherung

### 1 Personal und Ausstattung von Ausführungsunternehmen

#### 1.1 Allgemeines

Bei der Abdichtung von Bauwerken durch Injektion werden an die ausführenden Unternehmen besondere Anforderungen in Bezug auf

- Personal
- Geräteausstattung
- Ausführung und
- Dokumentation

gestellt. Die Anforderungen sind in den nachfolgenden Punkten beschrieben.

#### 1.2 Anforderungen an die Qualifikation des Personals

##### 1.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die Ausführung von Arbeiten nach diesem Merkblatt erfordert vom ausführenden Unternehmen den Einsatz einer *qualifizierten Führungskraft*, eines *Baustellenleiters* und von *Baustellenfachpersonal*, die über ausreichende Kenntnisse und Erfahrungen verfügen, um eine fachgerechte Ausführung und Dokumentation der Arbeiten sicherzustellen. Vom ausführenden Unternehmen muss gewährleistet werden, dass alle Nachweise vorliegen und die nachstehenden Anforderungen erfüllt sind.

##### 1.2.2 Qualifizierte Führungskraft

Die *qualifizierte Führungskraft* des ausführenden Unternehmens ist für die gesamte Abdichtungsmaßnahme verantwortlich. Nach einer Plausibilitätsprüfung der Planungsunterlagen ist durch die *qualifizierte Führungskraft* der *Baustellenleiter* sowie das *Baustellenfachpersonal* in die auszuführenden Arbeiten einzuweisen. Die Plausibilitätsprüfung der Planung beinhaltet unter anderem:

- Überprüfung der Durchführbarkeit der Arbeiten
- Erkennen von Planungsfehlern und Standsicherheitsrisiken

Erscheint die Planung nicht plausibel oder durchführbar, ist eine Absprache mit dem *fachkundigen Ingenieur* erforderlich. Wird keine Übereinstimmung erzielt, müssen Bedenken gegen die Ausführung angemeldet werden.

Die *qualifizierte Führungskraft* ist für die Aufstellung des Bauablaufplanes verantwortlich, der dem Auftraggeber vor Arbeitsbeginn zu übergeben ist. Im Bauablaufplan müssen folgende Angaben bzw. Unterlagen enthalten sein:

- voraussichtliche Dauer der Injektionsarbeiten inklusive Vorarbeiten und Nebenleistungen
- Art, Bezeichnung und wesentliche Eigenschaften des Injektionsmaterials (Produktfestlegung)

- Produktdatenblätter, Sicherheitsdatenblätter und Prüfnachweise zum verwendeten Injektionsmaterial
- Anlieferung, Lagerung und Transport der Injektionsstoffe auf der Baustelle
- Gerätetechnik und Injektionstechnologie einschließlich Art und Umfang der Dokumentation
- Beim Einsatz von mehreren Pumpen Festlegung der Abstände der gleichzeitig zu injizierenden Flächen
- Havariekonzept (sofern notwendig)
- Entsorgung von Abfallstoffen (Entsorgungsnachweise)

### **1.2.3 Baustellenleiter**

Der *Baustellenleiter* ist verantwortlich für die Ausführung und Dokumentation der Arbeiten auf der Baustelle sowie für die erforderlichen Prüfungen. Er muss bei allen für den Abdichtungserfolg wesentlichen Maßnahmen auf der Baustelle anwesend sein. Der Baustellenleiter muss Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Injektionsarbeiten besitzen. Der Nachweis orientiert sich an diesem Merkblatt und ist durch Teilnahme an einer entsprechenden Schulung, deren Lehrgangsinhalt von der STUVA zertifiziert ist, zu erbringen (*ABI-Zertifikat*).

Der Baustellenleiter hat insbesondere folgende Aufgaben:

- Planung der Arbeitsabläufe auf der Baustelle
- Anleitung des Baustellenfachpersonals
- Auswertung der Ergebnisse der Eigenüberwachung der Ausführung
- Dokumentation der ausgeführten Arbeiten

### **1.2.4 Baustellenfachpersonal**

Das Baustellenfachpersonal muss über ausreichende Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Injektionstechnologie verfügen. In Abhängigkeit von den auszuführenden Arbeiten ist das Baustellenfachpersonal zu schulen. Diese Schulungen können z. B. auch durch Materialhersteller erfolgen. Referenten und Schulungsinhalt müssen von der STUVA anerkannt sein.

## **1.3 Geräteausstattung**

### **1.3.1 Allgemeines**

Die erforderliche Geräteausstattung ist von der Art der Injektionsmaßnahme abhängig. Dabei handelt es sich insbesondere um Einrichtungen und Geräte für das

- Lagern der Injektionsstoffe (temperierte Räume)
- Abmessen der Ausgangsstoffe (Waagen, Messbecher mit definierter Genauigkeit)
- Mischen der Ausgangsstoffe (Stopuhr, gesonderte Mischwerkzeuge für jede Komponente)

- Injizieren (mit geeigneter Pumpentechnik)
- Messen und Prüfen (induktive Durchflussmessung, Druck- und Temperaturmessgeräte)
- Dokumentieren der Injektionsparameter (z. B. Aufzeichnungsgeräte für Menge, Druck, Zeit und Verformung siehe Teil III, Abschnitt III.3.4)

Die Geräte sind vor Beginn der Injektionsmaßnahme und im weiteren Verlauf der Arbeiten mehrmals täglich auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen. Besondere Bedeutung ist der zuverlässigen Funktion von Dosiereinrichtungen beizumessen. Es ist sicherzustellen, dass bei Pumpen, die mehrere Komponenten mit einstellbarem Mischungsverhältnis fördern, die Einhaltung des Mischungsverhältnisses gewährleistet ist. Die Ergebnisse sind zu dokumentieren.

### 1.3.2 Injektionsgeräte

Die Injektionsgeräte sind in Abhängigkeit von den Injektionsstoffen und den Anforderungen des Bauwerkes und des Baugrundes sowie der Größe des Vorhabens zu wählen. Die Auswahl geeigneter Pumpentechnik obliegt dem ausführenden Unternehmen. Spezielle Anforderungen können durch den *fachkundigen Ingenieur* vorgegeben werden. Injektionen zur nachträglichen Abdichtung werden mit 1- oder 2-Komponenten-Pumpen ausgeführt. Nach ihrem Wirkprinzip unterscheiden sich die folgenden, für Injektionen in Frage kommenden Injektionsgeräte:

- Kolbenpumpen
- Membranpumpen
- Schlauchpumpen

Für die Injektion der im Teil II näher beschriebenen Injektionsstoffe kommen im Wesentlichen Kolbenpumpen zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Verdrängerpumpen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass ein Verdrängerkörper (Kolben) in einem abgegrenzten Raum (Zylinder) durch externen Antrieb bewegt wird und dadurch eine Flüssigkeitsmenge in periodischer Folge fördert. Der Verdrängerkörper kann pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch angetrieben werden. Die eingesetzten Pumpen müssen folgende allgemeine Anforderungen erfüllen:

- baustellentaugliche, robuste Bauweise
- wartungsfreundlicher Aufbau
- Beständigkeit aller verwendeten Materialien gegenüber den Injektionsstoffen und den entsprechenden Reinigungsmitteln.

Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch geeignete Injektionsgeräte.



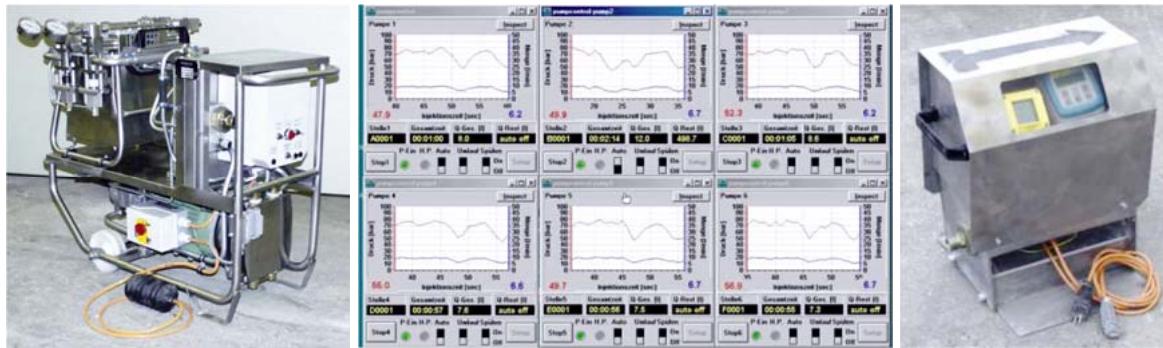
**Abb. III/1: Injektionspumpen: 1K-Kolbenpumpe, TPH Bausysteme; 2K-Kolbenpumpe, MC Bauchemie; 2K-Zahnradpumpe, Perforator (von links nach rechts); Die Bilder stellen nicht die Größenverhältnisse der Pumpen dar.**

Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen an Injektionspumpen müssen Pumpensysteme für die Injektion von Gelen, vor allem im Gültigkeitsbereich des WHG [6], folgende Eigenschaften aufweisen:

- Zwangsförderung der Komponenten mit zuverlässig einstellbarem oder festem Mischungsverhältnis (2K-Pumpen)
- leistungsfähiger Mischkopf zur Durchmischung der von den Pumpen geförderten Komponenten (2K-Pumpen)
- Zusätzliche Spülspülung als Hochdruckpumpe (ca. 200 bar)
- Kontrollmöglichkeit für die Förderung beider Komponenten (z. B. Durchflussanzeige, Subtraktions-Wägung der Komponenten während der Injektion)
- Messtechnik zur Kontrolle des Drucks
- Messtechnik zur Kontrolle des Volumenstroms
- Messtechnik zur Begrenzung der Fördermenge für die einzelnen Komponenten mit Warnung oder Abschaltung bei Mischfehlern
- Anschlussmöglichkeit zur digitalen Dokumentation

Es ist sicherzustellen, dass die Materialeigenschaften (z. B. Viskosität, Verarbeitungszeit) des Injektionsstoffes nicht verändert werden. Veränderungen der Materialeigenschaften können durch Wärmeentwicklung im Pumpensystem (Wärmeentwicklung durch die Druckerzeuger) oder auch durch Sonneneinstrahlung entstehen.

In Abhängigkeit vom Bauvorhaben bzw. nach Planungsvorgabe sind Injektionsgeräte mit Dokumentations- und Kontrollmöglichkeiten einzusetzen. Abbildung III/2 zeigt exemplarisch ein derartiges System.



**Abb. III/2: 2K-Kolbenpumpe mit Mess- und Aufzeichnungseinheit zur druckunabhängigen Mengensteuerung (Obermann)**

### 1.3.3 Zubehör

Bei Abdichtungsinjektionen werden die Injektionsstoffe über Packer, Lanzen oder Manschettenrohre in die Konstruktion oder in den Baugrund eingebracht. Dafür gelten folgende allgemeine Anforderungen:

- zuverlässige Befestigung im Bauteil bei dem verfahrensbedingten Injektionsdruck
- Korrosionsbeständigkeit für im Bauwerk verbleibende Teile
- Absperrmöglichkeit
- an die erforderliche Fördermenge und die Fließeigenschaften des Injektionsstoffes angepasster Querschnitt.

Bei Niederdruck-Injektionen und bei der Messung des Injektionsdruckes dürfen Packer und Absperreinrichtungen keine wesentlichen Querschnittsveränderungen aufweisen, die zu einer Druckerhöhung führen. Rückschlagventile, die einen hohen Öffnungsdruck erfordern, sind zu vermeiden. Bei Bedarf kann der Druckverlust zwischen Manometer und Austritt aus dem Packer mit der beabsichtigten Durchflussrate an einem nicht eingebauten Packer gemessen werden. Der Druckabfall ist von der Durchflussrate abhängig.

Bei *Schleierinjektionen* muss die Länge der Packer nicht unbedingt der Dicke des durchbohrten Bauteils entsprechen. Die Herstellung eines Gelschleiers ist grundsätzlich auch über die nach außen reichenden Bohrkanäle möglich. Bei dieser Ausführung ist jedoch nicht auszuschließen, dass Teilmengen des Injektionsstoffes in das Bauteil fließen. Eventuelle negative Einflüsse auf die vorhandene Bausubstanz sind vom *fachkundigen Ingenieur* vorab zu bewerten.

Von Packern, die über spezielle Vorrichtungen einen Materialaustritt parallel zur Bauwerksaußenfläche erzeugen, ist kein signifikanter Einfluss auf die Form der entstehenden Injektionskörper zu erwarten.

Bei partiellen Injektionen in Risse und Fugen kann eine Verdämmung der Risse oder eine Abschottung der Fugen erforderlich sein, um einen unkontrollierten Materialaustritt zu verhindern.

## 1.4 Nachunternehmer

Der Auftragnehmer darf Leistungen nur an Nachunternehmer übertragen, die fachkundig, leistungsfähig und zuverlässig sind. An den Nachunternehmer sind bezüglich der personellen und gerätetechnischen Ausstattung dieselben Anforderungen zu stellen wie an den Auftragnehmer. Beabsichtigt der Auftragnehmer, Leistungen an einen Nachunternehmer zu übertragen, ist vor der Ausführung die schriftliche Zustimmung des Auftraggebers einzuholen.

## 2 Anforderungen an die Ausführung

### 2.1 Allgemeines

Arbeiten zur nachträglichen Abdichtung von Bauwerken durch Injektion sind so auszuführen, dass:

- die Planung nach den Regeln der Technik umgesetzt und das Planungsziel erreicht wird,
- die gesetzlichen Anforderungen an den Grundwasserschutz eingehalten werden,
- die gesetzlichen Anforderungen an den Arbeits- und Gesundheitsschutz eingehalten werden.

### 2.2 Anforderungen in Abhängigkeit vom Injektionsverfahren

#### 2.2.1 Schleierinjektionen

Der Gelschleier wird in der Regel durch Injektion von der Innenseite des Bauwerkes in den außen anstehenden Baugrund erzeugt. Dazu sind Bohrungen durch die abzudichten den Bauteile erforderlich. Das Bohrraster ist von der Bauwerksgeometrie, dem anstehen den Baugrund und der gewählten Technologie (Ein- oder Mehrstufeninjektion, Fördermenge, Injektionsdruck etc.) abhängig. In die Bohrungen werden Packer eingesetzt, durch die das Abdichtungsmaterial an die Bauwerksaußenseite in den Baugrund injiziert wird. Die Injektion erfolgt mit einer 2-Komponenten-Pumpe, mit der die einzelnen Komponenten erst am Packer zusammengeführt werden.

Bei der Festlegung des Injektionsrasters sind der Aufwand zur Herstellung der Injektionsbohrungen einschließlich der damit verbundenen Beeinträchtigung der Bauwerksnutzung und der Verbrauch an Injektionsstoff gegeneinander abzuwägen. Als Grundregel kann gelten, dass ein größerer Bohrlochabstand einen höheren Materialverbrauch zur Sicherstellung der gleichen Mindestdicke des Gelschleiers nach sich zieht. Bei vielen ausgeführten Abdichtungsmaßnahmen haben sich Bohrlochabstände zwischen 30 und 50 cm als günstig erwiesen. Der gewählte Abstand ist abhängig von den Eigenschaften des zu injizierenden Baugrundes. Er ist vom *fachkundigen Ingenieur* vorzugeben, siehe Teil I, Abschnitt 3.2.

Die Ausführung von *Gelschleierinjektionen* ist möglich an:

- wasserberührten Außenflächen eines abzudichtenden Bauwerks durch Herstellung eines Schleiers an den erdberührten Bauteilen. Die Oberkante des Gelschleiers ist vom Planer anzugeben.

- Teilflächen der Bauwerksaußenseite, z. B. für die Abdichtung folgender Bereiche:
  - Bodenplatten bei konventioneller Abdichtung der Wände
  - überbaute Teilbereiche von Außenwänden
  - Fugen und Risse
  - schadhafte oder fehlerhafte Abschnitte von Fugenbändern.

Der Gelschleier kann durch Injektion von der Innenseite der Wände nicht bis zur Geländeoberfläche hergestellt werden. Je nach Durchlässigkeit und Verdichtungsgrad des Bodens ist ein Abstand von 0,5 m bis 1 m zwischen Geländeoberkante und oberster Injektionsstelle einzuhalten, da sonst die Gefahr der Störung oberflächennaher Bodenschichten besteht.

Durch die Wahl der Injektionsparameter ist sicherzustellen, dass die gesamte abzudichtende Bauwerksfläche lückenlos mit einem Gelschleier bedeckt ist, der die zur Abdichtung erforderliche Mindestdicke aufweist. Werden keine gesonderten Nachweise geführt, beträgt für einen Wasserdruk bis 1 bar die Mindestdicke des Gelschleiers 10 cm. Durch Variation der Injektionstechnologie, z. B. Mehrstufeninjektion, kann eine Form der Injektionskörper erreicht werden, die von der Halbkugelform abweicht. Es ist anzustreben, eine möglichst große Wandfläche bei relativ geringer Tiefenausdehnung des Injektionskörpers zu bedecken.

Die Angaben zur Injektionstechnologie sind durch den *fachkundigen Ingenieur* vorzugeben. Bewährt hat sich ein Injektionsdruck kleiner als 10 bar am Ausgang des Packers. Abhängig von den verwendeten Packern und deren Anschläßen ergibt sich ein Druckverlust bis zum Austritt des Materials in den Baugrund. Der Druckverlust vom Manometer bis zum Ausgang des Packers sollte durch Vorversuche ermittelt werden. Der maximal aufzubringende Druck kann entweder aus Erkundungsinjektionen abgeleitet werden, siehe Teil I, Abschnitt 4.4, oder aus Verformungsbetrachtungen des Bodens oder Bauwerks. Er sollte unterhalb der Grenze liegen, an der bei steigender Fördermenge bei der vorlaufenden Erkundungsinjektion ein Druckabfall infolge von Gebirgssprengung, Erosion oder einer unzulässige Verformung zu verzeichnen oder zu erwarten ist.

Üblicherweise werden Materialien mit Gelzeiten im Bereich weniger Minuten verwendet, damit vor der Erhärtung des Gels genügend Zeit zur Ausbreitung im Boden zur Verfügung steht.

In Böden mit einem Durchlässigkeitsbeiwert  $k > 10^{-6}$  m/s) ist die Ausbildung eines zusammenhängenden Gelschleiers bei mehrstufiger Injektion in der Regel ohne Einschränkungen möglich, wobei mit abnehmender Durchlässigkeit des Bodens die zeitabhängige Fördermenge zu begrenzen ist. Geringer durchlässige Böden erfordern eine besondere technologische Vorgehensweise. Wenn möglich, sind Probeabschnitte zu injizieren, bei denen die Injektionsparameter erfasst werden und insbesondere der Druckaufbau kontrolliert wird. Möglichkeiten, dabei den Zustand des Gelschleiers an freigelegten Stellen zu überprüfen, sollten unbedingt genutzt werden.

Die unbeabsichtigte Füllung von benachbarten Leitungen und Dränagen ist durch eine ausreichende Erkundung der örtlichen Gegebenheiten auszuschließen. Sollen Hohlräume planmäßig gefüllt werden, ist das vor der Gelinjektion mit dafür geeigneten Materialien,

z. B. auf Zementbasis auszuführen. Die bei einer vorausgehenden Injektion eines mineralischen Systems u. U. auftretende zeitweilig erhöhte Alkalität des umgebenden Boden-Wasser-Gemischs ist bei der Injektionsplanung zu beachten. Auf weitere Vorkehrungen bei der Injektion in wassergefüllte Hohlräume wird in Teil I, Abschnitt 5.2.4 eingegangen.

Die Injektion von Gelen erfolgt in der Regel mit 2-Komponenten-Pumpen. Der Einsatz von 1-Komponenten-Pumpen ist infolge der meist kurzen Reaktionszeit auf Sonderfälle zu beschränken. Die 2-K-Pumpenanlagen müssen zusätzlich eine Spülspalte besitzen.

## 2.2.2 Flächeninjektion in Bauteile

Voraussetzung für diese Form der nachträglichen Abdichtung sind Baustoffe, deren Gefüge ausreichende Transportwege für den Injektionsstoff aufweist. Die *Flächeninjektion* in Bauteile wird deshalb häufig an erdberührten, hohlräum- oder porenenreichen Bauteilen eingesetzt.

Generell sind negative Auswirkungen auf das Bauteil vom *fachkundigen Ingenieur* zu prüfen. Besonderer Beachtung obliegen Stahlbetonbauwerke, welche nur mit Injektionsstoffen abgedichtet werden dürfen, die nachweislich nicht korrosionsfördernd sind.

Bei der *Flächeninjektion* von Mauerwerk werden bevorzugt die Mauerwerksfugen gefüllt. Neben der großflächigen Abdichtung gesamter Wände können auch kleine Teilbereiche partiell abgedichtet werden, z. B. unzugängliche Wandbereiche.

Bei Natursteinmauerwerk bedarf die *Flächeninjektion* vorlaufender Maßnahmen.

Insbesondere ist durch den *fachkundigen Ingenieur* zu prüfen, ob vor der abdichtenden Injektion weitere Schritte, z. B. die Injektion mineralischer Produkte zur Gewährleistung der Standsicherheit, erforderlich sind. Siehe dazu auch WTA Merkblatt 4-5-99/D, Mauerwerksdiagnostik [31].

Bei der *Flächeninjektion* in Bauteile wird das Injektionsraster durch das Ausbreitungsverhalten des Injektionsstoffes während seiner stoffspezifischen Verarbeitungszeit und die Gefügestruktur des Baustoffes bestimmt. Das Bohrlochraster ist vom *fachkundigen Ingenieur* vorzugeben.

Die Bohrungen sollten grundsätzlich so eingebracht werden, dass der Bohrkanal möglichst lang ist. Auf diese Weise soll erreicht werden, dass eine möglichst große Anzahl von Lagerfugen im Mauerwerk, von Rissen und sonstigen für den Wassertransport zur Verfügung stehenden Fehlstellen, Poren und Hohlräumen erfasst wird. Der Injektionsdruck ist durch den Planer auf der Grundlage der Voruntersuchung des Bauwerkes zu begrenzen, um Schäden an den Bauteilen während der Injektion zu vermeiden. Das niedrigviskose Material wird unter mäßigem Druck, mit geringer Fördermenge über Packer injiziert. Dabei wird das vorhandene Wasser aus den Fehlstellen verdrängt. Eine Aufweitung von Rissen durch zu hohen Injektionsdruck ist zu vermeiden, um die Tragfähigkeit des Bauwerks nicht zu beeinträchtigen.

Für diese Injektionen werden vor allem Acrylatgele eingesetzt, die durch ihre sehr niedrige Viskosität selbst in feine Risse, Poren und Fehlstellen eindringen können und diese ver-

stopfen. Möglich ist auch die Verwendung anderer Injektionsstoffe, deren Eignung für den entsprechenden Anwendungsfall nachgewiesen ist.

Sofern mit größeren Hohlräumen zu rechnen ist, kann bei nachgewiesener Verträglichkeit eine vorangestellte Füllung mit Zementsuspension oder Zementleim die Wirtschaftlichkeit erhöhen.

Bei der Anwendung von Acrylatgelenk zur Abdichtung in der Konstruktion kann es insbesondere bei Mauerwerk im Verlauf der Abtrocknung der Bauteile zu Salzausblühungen kommen. Diese Ausblühungen sollten nach dem Abtrocknen nur mechanisch entfernt werden.

### 2.2.3 Flächeninjektion in Bauteilzwischenräume

Abdichtende Injektionen in Bauteilzwischenräume sind Sonderfälle der Flächenabdichtung. Flächig injizierbare Zwischenräume ergeben sich in Abhängigkeit von der Konstruktion in Form von:

- Bauteiltrennfugen mit Trennfolien, Faserplatten, Mineralwolle oder ähnlichen Materialen
- Trennflächen zwischen Baukörpern und Dichtungsbahnen. Dort können sich ggf. zusätzliche Vlieseinlagen befinden.
- mehrlagigen Abdichtungssystemen u. ä.
- mehrteiligen Bauteilsystemen.

Bauteilzwischenräume können durch Füllung mit geeigneten Injektionsstoffen abgedichtet werden. Dazu müssen die Injektionsstoffe in die Zwischenräume mit darauf abgestimmten Injektionsparametern (insbesondere Packerabstand, Injektionsdruck, Injektionsmenge und evtl. Verformung) injiziert werden.

In die Zwischenräume eingebrachte Injektionsstoffe müssen im Zusammenwirken mit den vorhandenen Einbaumaterialien (z. B. Faserplatten, Steinwolle, Vlies) die geforderte Wasserdurchflussreduzierung sicherstellen.

Durch Voruntersuchung ist zu klären, ob eine zuverlässige Verteilung des Injektionsstoffs in der zur Verfügung stehenden Fläche möglich ist und ob sichergestellt werden kann, dass der Injektionsstoff nicht unkontrolliert abfließt. Dazu können z. B. Bauteilversuche an nachgestellten Konstruktionen oder Probeinjektionen vor Ort durchgeführt werden.

Die Festlegung von Bohrtiefe, Bohrraster und Bohrtechnik erfordert besondere Aufmerksamkeit, um vorhandene, funktionsfähige Abdichtungsebenen oder andere Funktionselemente des Bauwerks nicht zu zerstören. Das Bohrverfahren zur Herstellung der Injektionskanäle ist auf die erforderliche Genauigkeit abzustimmen. Die größte Präzision wird mit Kernbohrtechnik erreicht.

### 2.2.4 Füllen von Rissen und Hohlräumen

Die Verfahrensweise zum Füllen von Rissen durch Injektion ist für die meisten Füllstoffe in [3] und [4] beschrieben. Sie lässt sich im Allgemeinen auch auf die nicht in diesen Regel-

werken aufgeführten Injektionsstoffe übertragen. Angepasst an Besonderheiten der Injektionsstoffe dieses Merkblatts sind Abweichungen der Verfahrensweise nach [3] oder [4] möglich. Das betrifft zum Beispiel folgende Punkte:

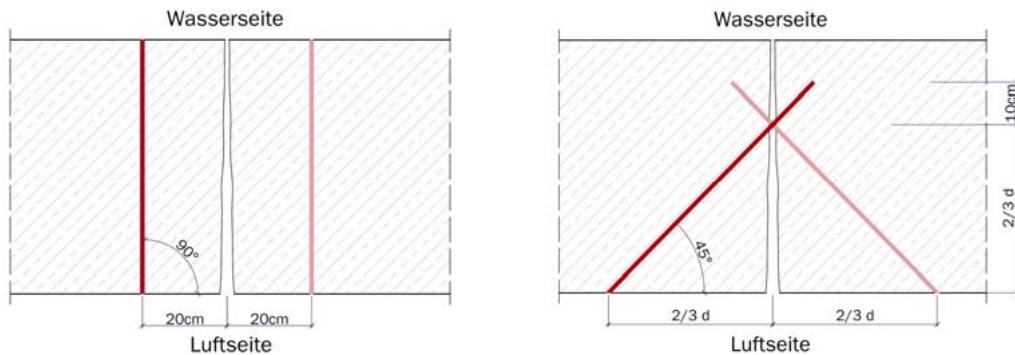
- Verfahrensweise bei starker Wasserbelastung  
Um das Ausspülen des Injektionsstoffs zu verhindern, kann:
  - o der Schnittpunkt von Injektionsbohrung und Riss weiter zur wasserzugewandten Seite verlegt werden,
  - o Material mit sehr kurzer Reaktionszeit verwendet werden,
  - o der Riss zeitweilig zur Begrenzung des Durchflusses verdämmt werden.
- Abweichende Rissbreiten und Rissbewegungen  
Bei nachgewiesener Eignung des Injektionsstoffs (Funktionsnachweis oder Zulassung) kann der Einsatz ungeregelter Injektionsstoffe vorteilhaft sein.

Risse werden in der Regel wechselseitig unter einem Winkel von ca. 45° angebohrt, so dass der Riss etwa in Bauteilmitte gekreuzt wird. Daraus ergibt sich ein Abstand von halber Bauteildicke zum Riss und zum nächsten Bohrkanal. In [4] ist die Anordnung der Bohrungen durch Skizzen verdeutlicht. Die beschriebene Vorgehensweise ist bis zu Bauteildicken von ca. 60 cm sinnvoll. Für dickere Bauteile ist ein auf das Injektionsziel abgestimmtes Bohrschema zu erarbeiten. Gegebenenfalls sind mehrere Bohrreihen notwendig. Meist ist es ausreichend, wenn nur ein Teil des Querschnitts dicker Bauteile durch die Injektion erfasst wird. Dabei ist eine durchgehende Abdichtungsebene in diesem Abschnitt herzustellen.

Das abdichtende Füllen von Hohlräumen erfolgt unter Verwendung von Bohrpackern über rasterförmig angeordnete Bohrungen. Die Bohrtiefe ist so zu begrenzen, dass ein Materialaustritt an der Rückseite des abzudichtenden Bauteils ausgeschlossen ist. Der dazu erforderliche Abstand des Bohrlochendes zur rückseitigen Bauteilfläche ist abhängig von der Beschaffenheit des Bauteils. Reichen Gefügestörungen bis zur Bauteiloberfläche, kann an zugänglichen Stellen eine Verdämmung erforderlich werden.

In anderen Fällen kann durch schnell reagierende Injektionsstoffe der Materialaustritt begrenzt werden. Bei der Injektion in wassergefüllte Hohlräume muss sichergestellt sein, dass das verdrängte Wasser abfließen kann und ein Injektionsstoff gewählt wird, der das Wasser ohne wesentliche Verschlechterung seiner Eigenschaften verdrängt.

Bei hohem Wasserdruck empfiehlt es sich in besonderen Fällen, die Bohrungen für die Packer nicht nach [3] und [4] herzustellen, sondern das Bauwerk zu durchbohren und den Injektionsstoff von der wasserbelasteten Seite mit dem Wasserfluss in die Fehlstelle einzuleiten (Abb. III/3). Während des Durchflusses wird der Injektionsstoff ausreagieren und die Fehlstelle abdichten. Zusätzlich wird sich an der Außenseite zwischen den Injektionskanälen eine flächige Abdichtungsebene ausbilden. Bohrabsatzwinkel und Bohrlochabstände werden durch den *fachkundigen Ingenieur* vorgegeben.



**Abb. III/3: Anordnung von Bohrungen in Spezialfällen, Prinzipskizze**

## 2.2.5 Füllen von Injektionsschläuchen

Die Injektion der in der Arbeitsfuge verlegten Injektionsschlauchabschnitte sollte so spät wie möglich – frühestens nach Abklingen des Anfangsschwindens erfolgen. Wenn bauliche Randbedingungen einen früheren Injektionszeitpunkt erfordern, sollte ein geprüftes mehrfach injizierbares System verwendet werden. Entsprechend den Ausführungen in [8] sollten die Injektionsschläuche im Regelfall planmäßig injiziert werden. Die Entscheidung über die terminliche Ausführung der Arbeiten ist von den Vertragspartnern zu treffen.

Der richtige Zeitpunkt für die Injektionsarbeiten richtet sich nach den Randbedingungen des Bauwerks bzw. Bauteils. Als wesentliche Punkte sind dabei gemäß [8] zu berücksichtigen:

- Schwindverhalten
- Bauteilabmessungen
- Wasserstandsschwankungen
- Abstellen der Wasserhaltung
- Undichtigkeiten (Durchfeuchtung im Fugenbereich)
- Arbeitsraumverfüllung
- Bauteilbewegungen
- Grenzen der Materialverarbeitung
- Zugänglichkeit für die Injektionsarbeiten
- Bauteiltemperatur

Die Verarbeitungshinweise für den eingesetzten Injektionsstoff und die Festlegungen im allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis (abP), das als Verwendbarkeitsnachweis für alle Injektionsschlauchsysteme vorliegen muss, sind dabei zu beachten.

Im Weiteren sind die nachfolgenden Hinweise aus dem DBV-Merkblatt [8] zu beachten:

„Die Injektionsarbeiten sollten abschnittsweise an zusammenhängenden Bauteilbereichen, von einer Seite beginnend erfolgen. Bei vertikal liegenden Schläuchen erfolgt das Injizieren von unten nach oben.“

Zur Entlüftung ist das Injektionsschlauchsystem mit Injektionsmaterial zu füllen, bis das Material am anderen Ende blasenfrei austritt. Danach wird das Schlauchende verschlossen. Nach dem Verschließen des Injektionsschlauchsystems soll der Injektionsdruck langsam und gleichmäßig gesteigert werden.

Es ist notwendig, einen Vergleich zwischen Verpresskanalvolumen des Injektionsschlauchs und injiziertem Volumen vorzunehmen. Bei vorzeitigem Materialaustritt sind die zugänglichen Leckagestellen abzudichten. Die Injektionsarbeiten sind hierfür kurzfristig zu unterbrechen. Innerhalb der Verarbeitungszeit des Injektionsmaterials – abhängig von der Temperatur – sollte der Injektionsschlauch mindestens einmal nachinjiziert werden.

Ist eine Arbeitsfuge nach dem Betonieren einseitig nicht zugänglich (z. B. die Unterseite in der Sohle), sind mehrfach injizierbare Injektionsschlauchsysteme zu bevorzugen. Tritt in einem Bereich hoher, unkontrollierter Materialverbrauch auf, muss die Injektion unterbrochen werden. Eine Weiterverpressung ist erst nach Freispülen oder Vakuumieren des Injektionsschlauchs ggf. mit zusätzlicher Verdämmung möglich. Bei Bedarf kann dieser Bereich später auch über Bohrpacker abgedichtet werden. Ein besonderer Vermerk hierzu ist im Verpressprotokoll erforderlich.“

## 2.2.6 Füllen von Bewegungsfugen

Für die Injektion des Fugeninnenraumes von wasserbelasteten Bewegungsfugen kommt eine Reihe von unterschiedlichen Injektionsstoffen oder Füllstoffkombinationen in Frage. Die ohne Ausnahme organischen, hochpolymeren Materialien unterscheiden sich in ihrer Materialbasis und durch ihre Verarbeitungs- und Anwendungseigenschaften. Die Injektionsstoffe werden entweder über Lanzen, über den Fugenkanal kreuzende Bohrungen oder in Sonderfällen über zuvor eingelegte Füllkanäle in der Regel mit Druck injiziert.

Je nach Materialart und Reaktionszeit werden als Injektionspumpen Ein-Komponenten-Pumpen (1-K) oder Zwei-Komponenten-Pumpen (2-K) verwendet. Als Injektionsstoffe haben sich Polyurethane und gefüllte Acrylatgele besonders bewährt.

Das Füllen von Bewegungsfugen ist eine Sonderanwendung, die einer besonders sorgfältigen Planung und Ausführung bedarf (beachte Tabelle I/2). Die Eignung der einzusetzenden Injektionsstoffe ist nachzuweisen. Insbesondere die im Weiteren zu erwartenden Fugenbewegungen und Beanspruchungen der nachträglichen Abdichtung sind im Vorfeld für den konkreten Einsatzzweck zu ermitteln. Vom *fachkundigen Ingenieur* ist in Abhängigkeit von den erwarteten zeitabhängigen Bauteilbewegungen und Umgebungsbedingungen auch der Zeitpunkt der Injektion vorzugeben.

## 2.3 Nachinjektionen

Bei ausreichenden Kenntnissen zum Objekt, dem Schaden und der Bauwerksumgebung müssen Injektionen, die unter Berücksichtigung der Empfehlungen dieses Merkblatts Teil I vorbereitet, geplant und durchgeführt werden, zur Reduzierung des Wasserdurchflusses führen. Nachinjektionen sind nicht vergütungspflichtig, wenn die Qualitätssicherungsempfehlungen des Merkblatts Teil III, Abschnitt 3 nicht eingehalten werden.

Nachinjektionen sind grundsätzlich mit allen im Merkblatt aufgeführten Injektionsstoffen möglich. Die Materialkombination sollte sich an den Angaben der nachfolgenden Tabelle III/1 orientieren.

**Tabelle III/1: Materialien für die Nachinjektion**

Materialbasis der vorangegangenen Injektion	mögliche Materialien für die Nachinjektion
Zement	Zement, Polyurethan, Silikat, Acrylat <sup>1</sup>
Polyurethan	Polyurethan, Silikat, Acrylat
Acrylat	Acrylat
Silikat	Polyurethan, Acrylat

<sup>1</sup> Zeitweilig erhöhte Alkalität bei großen Zementmengen oder unmittelbar nach der Zementinjektion kann Materialien auf Acrylatbasis schädigen.

## 2.4 Reinigung und Entsorgung

Bei der Reinigung der Injektionsgeräte anfallende Materialreste und nicht verbrauchte Teilmengen der Injektionsstoffe müssen fachgerecht entsorgt werden. Entsorgungshinweise sind dem Sicherheitsdatenblatt des jeweiligen Injektionsstoffes zu entnehmen.

## 3 Qualitätssicherung der Ausführung

### 3.1 Allgemeines

Die durch Injektion hergestellte Abdichtung ist in der Regel nicht direkt überprüfbar. Nur über die Kontrolle der Applikation und der sich im Inneren des Bauwerkes verändernden Durchfeuchtungsscheinungen ist auf die sach- und fachgerechte Ausführung einer Injektion zu schließen. Eine präzise Dokumentation der Arbeiten ist für die Festlegung weiterer Maßnahmen von großer Bedeutung, wenn kein ausreichender Abdichtungserfolg erreicht wurde. Bei kontinuierlicher Erfassung und fachkundiger Beurteilung der Injektionsparameter ergeben sich ggf. schon während der Injektion Hinweise auf erforderliche Änderungen der Technologie.

### 3.2 Eigenüberwachung der Injektionsarbeiten

Eine Eigenüberwachung ist bei allen Injektionsarbeiten erforderlich. Sie kann durch das ausführende Unternehmen oder durch eine beauftragte sachkundige Stelle durchgeführt werden. Die Überwachung ist mit Beginn der Injektionsmaßnahme aufzunehmen und lückenlos durchzuführen. Aufgabe der Eigenüberwachung ist die Überprüfung der verwendeten Materialien und Geräte auf Einhaltung der geforderten Eigenschaften und ordnungsgemäße Funktion sowie Sicherung der Übereinstimmung zwischen Ausführung der Arbeiten und Planungsvorgaben.

Grundsätzlich ist für die Injektionsarbeiten vor Beginn der Ausführung ein Prüfplan zu erstellen und dem Auftraggeber zur Genehmigung einzureichen. Im Prüfplan sind mindes-

tens die aus den vertraglich vereinbarten Regelwerken erforderlichen Prüfungen aufzuführen. Ein Beispiel einer Checkliste für den Prüfplan ist im Anhang III enthalten.

Im Rahmen der Überwachung sind nachvollziehbare Aufzeichnungen zu allen, den Injektionserfolg beeinflussenden Daten anzufertigen. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgenden Inhalt haben:

- Prüfplan
- Abweichungen von den Planungsvorgaben
- Lage, Richtung, Durchmesser der Bohrungen
- Bohrlochtiefen
- Bauteil- und Umgebungstemperatur
- Temperatur des Injektionsstoffes
- Mischungsverhältnis und Reaktionszeit
- Chargenkennzeichnung des Injektionsstoffes
- Vermerke zur Überprüfung und Funktionskontrolle der Injektionstechnik sowie der Geräte zur Dosierung und Mischung der Komponenten
- Materialverbrauch pro Injektionsstelle, -stufe und -phase
- Injektionsdruck ( $p_{\min}/p_{\max}$ )
- Volumenstrom ( $Q_{\min}/Q_{\max}$ )
- evtl. Bauwerksverformungen

Darüber hinausgehende Anforderungen, z. B. Aufzeichnung des Verlaufs von Druck und Volumenstrom über die Injektionszeit sind projektbezogen durch den *fachkundigen Ingenieur* vorzugeben.

Die Aufzeichnungsart ist vor Beginn der Injektionsmaßnahme mit dem *fachkundigen Ingenieur* abzustimmen. Ob das manuelle Aufzeichnen der geforderten Parameter genügt oder eine Injektionspumpe mit digitaler Aufzeichnung gefordert wird, hängt vom Umfang der Injektionsarbeiten ab.

Anzustreben ist der Einsatz einer Injektionsanlage mit folgenden Leistungsmerkmalen:

- Erfassung der Injektionsmenge für die einzelnen Komponenten mit Durchflussmessgeräten und Speicherung der Werte auf geeigneten Datenträgern. Die Kalibrierung der Messwertaufnehmer muss täglich vor Beginn der Arbeiten vorgenommen und mehrmals täglich überprüft werden, um Messwertabweichungen korrigieren zu können. Bei automatisierter wie auch vom Bediener ausgeführter Hubzählung besteht die Gefahr von Messfehlern, z. B. bei Fehlfunktion von Ventilen.
- Messung des Injektionsdrucks möglichst nahe am Packer, Erfassung der Werte mit möglichst hohem Messtakt, um die Auswirkung der Pulsation üblicher Kolbenpumpen auf das Messergebnis zu kompensieren.
- Speicherung der Injektionsstelle (Packer) mit den Messergebnissen für Menge und Druck

- Warnmeldung oder Abschaltung der Injektionsanlage bei Mischfehlern, Druck- oder Mengenüberschreitung
- Auswertungsmöglichkeit für einzelne Injektionsstellen und Injektionsstufen

Unabhängig von der verwendeten Messtechnik muss der Injektionsverlauf anhand von Aufzeichnungen für den *fachkundigen Ingenieur* nachvollziehbar sein, um bei nicht eintretendem Abdichtungserfolg die Ursachen ermitteln zu können.

### 3.3 Fremdüberwachung der Injektionsarbeiten

Die Fremdüberwachung von Injektionsarbeiten ist grundsätzlich durch eine anerkannte, unabhängige Stelle durchzuführen. Ausnahmen sind bei kleinen Abdichtungsmaßnahmen mit Zustimmung des Bauherrn und des *fachkundigen Ingenieurs* möglich. Die Überwachungsstelle muss über Erfahrungen mit den jeweiligen Injektionsstoffen und Injektionsverfahren verfügen.

Die Überwachung sollte mindestens einmal je Baumaßnahme, bei größeren Injektionsmaßnahmen in angemessenen Abständen erfolgen. Die Häufigkeit wird durch die Überwachungsstelle in Abhängigkeit von den vorliegenden Überwachungsergebnissen in Abstimmung mit dem *fachkundigen Ingenieur* festgelegt.

Die Überwachungsstelle entscheidet über die Notwendigkeit von Probennahmen und Prüfungen auf der Baustelle. Die Proben des Materials hat der Vertreter der Überwachungsstelle oder ein durch ihn Beauftragter vor Ort an der Injektionsstelle zu entnehmen. Proben, die dem Fremdüberwacher durch die ausführende Firma zugesandt werden, sind nicht verwertbar.

Über die Ergebnisse der Überwachung fertigt die Überwachungsstelle einen Bericht an, der zeitlich so erstellt wird, dass die Feststellungen ggf. in die weiteren Injektionsarbeiten einfließen können.

### 3.4 Dokumentation

Nach Abschluss der Injektionsarbeiten ist dem Auftraggeber durch den Auftragnehmer eine Dokumentation über die ausgeführten Arbeiten vorzulegen. Die Überwachungsberichte sind Bestandteil der Dokumentation.

Der Umfang der Dokumentation muss vor Arbeitsbeginn in der Planungs- und Ausschreibungsphase vom *fachkundigen Ingenieur* festgelegt werden. Die Dokumentation ist keine Nebenleistung und muss als eigene Position ausgeschrieben werden. In Abhängigkeit von Größe und Besonderheiten der Injektionsbaustelle kann die Protokollierung aller oder nur eines Teils der nachfolgend beispielhaft aufgeführten Punkte durch den *fachkundigen Ingenieur* vorgeschrieben werden.

- Prüfplan mit den Prüfergebnissen
- Abweichungen von den Planungsvorgaben
- Anzahl der gesetzten Packer, zeichnerische und/oder fotografische Darstellung des Bohrrasters

- Tag der Verpressung
- Lage, Richtung, Durchmesser der Bohrungen
- Bohrlochtiefen
- Bauteil- und Umgebungstemperatur
- Temperatur des Injektionsmaterials
- Mischungsverhältnis und Reaktionszeit des Materials
- Art und Menge des Verpressmaterials unter Angabe der Chargen-Nummer
- Verlauf der Injektion (Packerkontakt während der Injektion)
- Materialverbrauch pro Injektionsstelle, -stufe und -phase
- Injektionsdauer pro Injektionsstelle, -stufe und -phase
- Verpressdruck ( $p_{\min}/p_{\max}$ )
- Volumenstrom ( $Q_{\min}/Q_{\max}$ )
- evtl. Bauwerksverformungen
- Vermerke zur Überprüfung und Funktionskontrolle der Injektionstechnik sowie der Geräte zur Dosierung und Mischung der Komponenten

Die Datenerfassung erfolgt nach Planungs- und Ausschreibungsvorgaben.

## Anhänge

### Anhang I: Normen und weiteres Schrifttum

#### Normen/Richtlinien:

- [1] DIN 18195: Bauwerksabdichtungen, Teil 1 bis 10; Stand: 2011-12
- [2] DIN EN 1504-5: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 5: Injektion von Betonbauteilen; Stand: 2013-06
- [3] DAfStb-Richtlinie: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie), Teil 1 bis 4, Stand: 2001-10, Berichtigung 2; Stand: 2005-12
- [4] ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten; Verkehrsblatt Verlag; Stand: 2010-04
- [5] WTA-Merkblatt 4-4-04/D: Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit; Stand: 2004-10
- [6] Wasserhaushaltsgesetz – WHG: Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts; Stand: 2009-07-31
- [7] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton-Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Stand: 2008-08
- [8] DBV-Merkblatt: Injektionsschlauchsysteme und quellfähige Einlagen für Arbeitsfugen; Stand: 2010-01
- [9] Grundwasserverordnung – GrwV: Verordnung zum Schutz des Grundwassers, BGBI. I S. 1513; Stand: 2010-11-09
- [10] DIBt-Grundsätze: Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser Teil I bis III; Stand: Teil I & III 2009-5 bzw. Teil II 2011-06
- [11] DIN 4093: Bemessung von verfestigten Bodenkörpern - Hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren; Stand: 2012-08
- [12] EUV 366/2011: Verordnung (EU) Nr. 366/2011 der Kommission vom 14. April 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Anhang XVII (Acrylamid); Stand: 2011-04-14
- [13] EGV 1907/2006: Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission; Stand: 2006-12-30
- [14] DIN V 18028: Rissfüllstoffe nach DIN EN 1504-5:2005-03 mit besonderen Eigenschaften; Stand: 2006-06
- [15] DIN EN 1767: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Infrarotanalyse; Stand: 1999-09
- [16] DIN EN ISO 489: Bestimmung des Brechungsindex; Stand 1999-08

- [17] DIN EN ISO 2811-1: Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Dichte-Teil 1: Pyknometer-Verfahren; Stand: 2011-06
- [18] DIN EN ISO 3675: Bestimmung der Dichte im Labor – Aräometerverfahren; Stand: 1999-11
- [19] DIN EN ISO 3219: Kunststoffe – Polymere/Harze in flüssigem, emulgiertem oder dispergiertem Zustand-Bestimmung der Viskosität mit einem Rotationsviskosimeter bei definiertem Geschwindigkeitsgefälle; Stand: 1994-10
- [20] DIN EN 1242: Klebstoffe – Bestimmung des Isocyanatgehaltes, Stand: 2013-05
- [21] DIN EN ISO 3251: Beschichtungsstoffe und Kunststoffe – Bestimmung des Gehaltes an nichtflüchtigen Anteilen; Stand: 2008-06
- [22] ASTM D7487: Standard Practice for Polyurethane Raw Materials: Polyurethane Foam Cup Test; Stand 2013
- [23] DIN EN 12715, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau), Injektionen; Stand: 2000-10
- [24] DWA Merkblatt DWA-M 506: Injektionen mit hydraulischem Bindemittel in Wasserbauwerken aus Massenbeton; Januar 2006
- [25] UBA Leitlinie: Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von Epoxidharzbeschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser; Stand: 2005-06-09
- [26] UBA Leitlinie: Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Beschichtungen im Kontakt mit Trinkwasser; Stand: 2010-11-30
- [27] UBA Leitlinie: Leitlinie zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien in Kontakt mit Trinkwasser (KTW-Leitlinie); Stand: 2008-10-07
- [28] DB Richtlinie: Nr. 804.6102-Vergelungsmaßnahmen Planung, Durchführung und Qualitätssicherung; Stand: 2003
- [29] DIN EN 480-14: 2007-03 Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Prüfverfahren - Teil 14: Bestimmung des Korrosionsverhaltens von Stahl in Beton - Elektrochemische Prüfung bei gleichbleibendem Potenzial; Deutsche Fassung EN 480-14:2006
- [30] DIN EN 12618-1, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Prüfverfahren – Teil 1: Haftung und Dehnung flexibler Füllgüter für Risse; Stand: 2003-11
- [31] WTA Merkblatt 4-5-99/D: Beurteilung von Mauerwerk Mauerwerksdiagnostik; Stand: 1999-09
- [32] DAfStb-Richtlinie: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie); Stand: 2011-03
- [33] DIN EN 1504-8: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 8: Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität; Stand: 2005-02
- [34] DIN EN 12716: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting); Stand: 2001-12
- [35] DWA – M 506: Injektionen mit hydraulischen Bindemitteln in Wasserbauwerken aus Massenbeton; Stand: 2006-01
- [36] EUV 109/2012: Verordnung (EU) Nr. 109/2012 der Kommission vom 9. Februar 2012 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parla-

- ments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) in Bezug auf Anhang XVII (CMR-Stoffe); Stand: 2012-02-09
- [37] EGV 790/2009Ber: Berichtigung der Verordnung (EG) Nr. 790/2009 vom 10. August 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt; Stand 2009-11-13
- [38] GAP-Papier: Grundsätze des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz, Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser; Stand: 2002-05
- [39] KTW-1: Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes für den Trinkwasserbereich: 1. Mitteilung; Stand: 1977-01-07, in Bundesgesundheitsblatt 20 Nr. 1 vom 7. Januar 1977
- [40] KTW-5: Gesundheitliche Beurteilung von Kunststoffen und anderen nichtmetallischen Werkstoffen im Rahmen des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes für den Trinkwasserbereich, 5. Mitteilung, Stand 1985-12-12, im Bundesgesundheitsblatt 28 Nr. 12 vom 12. Dezember 1985, S. 371 bis 374, KTW-5 Ergänzung: Empfehlung des Umweltbundesamtes zur weiteren Anwendung der KTW-Empfehlungen in der Übergangszeit bis zum In-Kraft-Treten des EAS; Stand: 2004-08
- [41] WTA-Merkblatt 4-6-05/D: Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile; Stand: 2005-03

### **Monographien:**

- [42] Bonk, M.; Lufsky, K.: Bauwerksabdichtung, 7. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2010; Kap. 15, Dr.-Ing. U. Hornig, Abdichtungen mit Gelinjektionen
- [43] Kutzner, Christian: Injektionen im Baugrund, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1991
- [44] Rudolph, M.; Hornig, U.: Nachträgliche Abdichtung von Betonbauwerken durch Gelinjektionen; Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), Heft 9; Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, GmbH & Co. KG, Berlin
- [45] Eßer, A./Schnellenbach-Held, M.: Untersuchungen zur Eignung von Acrylatgelen als Rissfüllstoff in Stahlbetonbauteilen gemäß DIN EN 1504-5, Universität Duisburg-Essen, FE 15.459/2008/DRB, 30.06.2011

## Anhang II: Erläuterungen, Begriffe

### Baustellenfachpersonal

Mitarbeiter des ausführenden Unternehmens mit Erfahrungen auf dem Gebiet der Bauwerksinjektionen. Das Baustellenfachpersonal soll in Abständen von maximal drei Jahren an produkt- und gerätespezifischen Schulungen teilnehmen. Die Inhalte der Schulungen müssen von der STUVA anerkannt sein.

### Baustellenleiter

Für die Planung der Arbeitsabläufe, die Ausführung und Dokumentation der Arbeiten auf der Baustelle sowie die Eigenüberwachung verantwortlicher Vertreter des ausführenden Unternehmens, der bei allen wesentlichen Arbeiten vor Ort sein muss. Der Baustellenleiter muss über Erfahrungen auf dem Gebiet der Injektionen an Bauwerken verfügen und einen Qualifikationsnachweis (ABI-Nachweis) besitzen. Dieser Nachweis wird durch Teilnahme an einer Schulung, deren Lehrgangsinhalt von der STUVA zertifiziert ist, erworben.

### Eigenüberwachung

Wesentliches Instrument zur Qualitätssicherung der Ausführung der Injektionsarbeiten. Eine Eigenüberwachung ist bei allen Injektionsarbeiten erforderlich. Sie kann durch das ausführende Unternehmen oder durch eine beauftragte sachkundige Stelle durchgeführt werden. Im Rahmen der Eigenüberwachung werden täglich die eingesetzten Geräte und Hilfsmittel sowie die verwendeten Materialien überprüft. Es werden Aufzeichnungen zu allen wesentlichen Parametern angefertigt, die den Erfolg der Abdichtungsarbeiten beeinflussen.

### Eignungsprüfung

Einmalige Prüfung von Eigenschaften, die für die Identifikation und für die Funktion eines Produktes von Bedeutung sind, durch eine bauaufsichtlich anerkannte Prüfstelle.

### Einschränkung des Wasserzu- oder -austrittes

Einschränkung des Wasserdurchgangs durch abzudichtende Bauteile auf ein Maß, das für die Nutzung und Dauerhaftigkeit tolerierbar ist.

### Erkundungsinjektion

Injektion mit stufenweise veränderlichem Volumenstrom bei gleichzeitiger Druckmessung zur Erkundung der Fließeigenschaften des Injektionsstoffes im Baugrund durch Auswertung der aufgenommenen Volumenstrom-Druck-Beziehung. Ermöglicht mit relativ geringem Aufwand eine hohe Untersuchungsdichte unmittelbar am Bauwerk. Ausführung in Vorbereitung von Schleierinjektionen empfohlen.

### Expositionsszenario

Zusammenstellung von Bedingungen, mit denen beschrieben wird, wie der Stoff hergestellt oder während seines Lebenszyklus verwendet wird und wie der Hersteller/Importeur die Exposition von Mensch und Umwelt beherrscht oder den nachgeschalteten Anwendern zu beherrschen empfiehlt.

### Fachkundiger Ingenieur

Mit den Besonderheiten der Injektionen und der verwendeten Materialien langjährig vertrauter Planer, der in der Lage ist, die ihm im Merkblatt zugewiesenen Planungs-, Auswer-

tungs- und Kontrollaufgaben zu erfüllen. In der Regel ist dazu eine Ausbildung als Ingenieur erforderlich. Der fachkundige Ingenieur wird in der Regel vom Bauherrn beauftragt.

### **Flächeninjektion**

Einbringen des Injektionsmittels in das Poresystem oder in Trennflächen eines Bauteils, so dass dieses die Abdichtungsfunktion übernehmen kann.

### **Fremdüberwachung**

siehe „Überwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle“

### **Gefüllte Acrylatgele**

Gefüllte Acrylatgele sind formbeständige, weich- bis gummielastische Stoffe, in denen der Anteil des Lösungs- bzw. Quellmittels (Wasser) gegenüber normalen Acrylatgelen reduziert ist. Zur Aufrechterhaltung der Vernetzungsstruktur können im Austausch für das Quellmittel eigenständig vernetzende Bindemittel z. B. wässrige Polymerdispersionen eingebaut werden. Die daraus resultierenden gefüllten Acrylatgele (Hybridgele) zeichnen sich durch Vorteile wie verbesserte Dichtwirkung, Anhaftung, geringere Schrumpfneigung und höhere Alkalibeständigkeit aus. Diese Materialien werden auch als feststofffreie Acrylatgele bezeichnet.

### **Gefüllte Polyurethane**

Durch Zusatz einer wässrigen Polymerdispersion an Stelle von Wasser zur Prepolymerkomponente in seinen Eigenschaften modifiziertes Polyurethangel. Durch den Polymergehalt wird die mechanische Stabilität und die Anhaftung verbessert sowie die Schrumpfneigung verhindert. Gefüllte Polyurethane werden u. a. zur Füllung von Bewegungsfugen, verwendet, wobei sehr schnell reagierende Materialien auch bei Wasserandrang einsetzbar sind.

### **Persistent**

Schwer abbaubar (in Bezug auf die verwendeten Stoffe)

### **Qualifizierte Führungskraft**

Auf der Seite des ausführenden Unternehmens für die gesamte Durchführung der Abdichtungsarbeiten verantwortliche Führungskraft. Sie muss in der Lage sein, die vorliegende Planung auf Plausibilität und Ausführbarkeit zu überprüfen und ggf. in Zusammenarbeit mit dem fachkundigen Ingenieur Veränderungen festzulegen. Die qualifizierte Führungskraft muss konstruktive und statische Zusammenhänge am Bauwerk im Zusammenhang mit der Ausführung der Injektionsarbeiten erkennen können und den Baustellenleiter sowie das Baustellenfachpersonal einweisen. Sie sollte dazu in der Regel über eine Qualifikation als Ingenieur verfügen. In jedem Fall sind mehrjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Injektionsarbeiten erforderlich.

### **Schleierinjektion**

Einbringen des Injektionsmittels in den Baugrund, so dass sich auf der Bauwerksaußenseite eine Dichtungsschicht, meist unter Nutzung des Baugrundes als Stützgerüst, ausbildet.

## **Übereinstimmungsnachweis**

Durch *werkseigene Produktionskontrolle* und Fremdüberwachung wird sichergestellt, dass Injektionsstoffe mit gleichbleibenden Eigenschaften hergestellt werden, die den in der Eignungsprüfung untersuchten Materialien entsprechen.

## **Überwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle (Fremdüberwachung)**

- (1) Überprüfung der Ausführung der Arbeiten, ggf. mit Probenahmen und Prüfungen auf der Baustelle sowie Kontrolle der Aufzeichnungen der Eigenüberwachung durch eine unabhängige Stelle. Die Überwachungsstelle sollte eine bauaufsichtliche Anerkennung als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle auf dem Gebiet der Abdichtung besitzen und über Erfahrungen mit den jeweiligen Injektionsstoffen verfügen. Die Überwachungsstelle darf nicht mit der Eigenüberwachung der gleichen Baustelle betraut sein.
- (2) Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle des Materialherstellers durch eine unabhängige Stelle, an deren Qualifikation die gleichen Anforderungen zu stellen sind, wie unter (1) beschrieben.

## **Wasserdichtheit**

Wasser gelangt unabhängig vom Aggregatzustand nicht durch das Bauteil. Dieser Zustand ist durch Injektionen in der Regel nicht zu erreichen.

## **Wasserundurchlässigkeit**

Wasser wird durch das abgedichtete Bauteil in Form von Wasserdampf, nicht jedoch in tropfbar-flüssiger Form transportiert.

## **Werkseigene Produktionskontrolle**

In der Verantwortung des Herstellers durchgeführte Prüfung von Eigenschaften, die im Bericht der Eignungsprüfung vorgegeben sind.

### Anhang III: Prüfplan Eigenüberwachung – Checkliste

Das folgende Beispiel eines Prüfplans für die Eigenüberwachung – also die Qualitätssicherung des ausführenden Unternehmens – erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es ist projektspezifisch anzupassen.

#### 1 Kontrolle Planung

Vorgang	Erfordernis	Bemerkung
Techn. Konzept vorhanden	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Planungsvorgaben plausibel	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Injectionstechnologie mit geplantem Material realisierbar	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Kampfmittelräumdienst	<input type="checkbox"/> erforderlich <input type="checkbox"/> nicht erforderlich	
wasserrechtliche Erlaubnis Untere Wasserbehörde	<input type="checkbox"/> erforderlich <input type="checkbox"/> nicht erforderlich	
Beteiligung Tragwerksplaner	<input type="checkbox"/> erforderlich <input type="checkbox"/> nicht erforderlich	
Beteiligung Sonderfachleute	<input type="checkbox"/> erforderlich <input type="checkbox"/> nicht erforderlich	

#### 2 Dokumentation während der Ausführung

##### 2.1 Allgemeine Daten

Messparameter	Anforderung	Bemerkung
Lufttemperatur	Häufigkeit Grenzwerte max./min.	
Bauteiltemperatur, Gebirgstemperatur	Häufigkeit Grenzwerte max./min.	
Materialtemperatur	Häufigkeit Grenzwerte max./min.	

## 2.2 Bohrungen

Auswahl treffen, abhängig vom Injektionsverfahren

Angabe	Beispiel, Anforderung	Bemerkung
Bohrverfahren	Vollkrone, dreh-, schlagend; Kernbohrung	
Spülverfahren	Luft, Wasser, ohne	
Baustoff/Bodenart	Angabe	
Bohransatzpunkt, Lage und Höhe	nach Ausführungsplanung	
Bohransatzpunkt, Richtung und Neigung	nach Ausführungsplanung	
Maßnahmen beim Bohren in quellenden und schwelenden Böden	lt. Bodengutachten	
Maßnahmen beim Bohren im Einflussbereich von Trink- und Mineralwasser	lt. Bodengutachten	
Maßnahmen beim Bohren in gasführendem Baugrund	lt. Bodengutachten	
Durchmesser der Bohrung	nach Ausführungsplanung	
Länge der Bohrung	nach Ausführungsplanung	
Verbleib des Bohrgutes	Vorgabe	
Einsatz, Art und Entsorgung von Bohrspülung	nach Ausführungsplanung	
Beschaffenheit des Bohrplenums	Angabe, Baustoff	
Anforderungen an die Bohrlochverfüllung	keine, Zement, Dämmer, Mörtel	
Maßnahmen beim Bohren in Fels ab FD4	lt. Bodengutachten	
Optische Bewertung der Bohrlochwandung	nach Vorgabe	

## 2.3 Suspension, Mantelmischung

Bei abdichtenden geotechnischen Injektionen

<b>Angabe</b>	<b>Messhäufigkeit</b>	<b>Bemerkung</b>
Mischungsverhältnis W/B-Wert	je Injektionslanze, Stufe u. Phase	
Bindemittel	Angabe für jede Mischung	
Fließmittel	Angabe für jede Mischung	
Dichte der Suspension	Angabe für jede Mischung	
Suspensionstemperatur	letztes Viertel jeder Mischung	
Marshzeit	1 x täglich	
Absetzverhalten	1 x täglich	
Prismen	< 5 Tage, bei jedem Chargenwechsel	
Druckfestigkeit, 28d	jede Mischung	

## 3 Injektionen

### 3.1 Injektionsstoffe

<b>Angabe</b>	<b>Forderung</b>
Materialbezeichnung	vollständiger Produktnname
Materialbasis	Angabe für jede Mischung
Chargennummer aller Komponenten	Angabe für jede Mischung
Verwendeter Statikmischer, Typ, Hersteller, Länge	Bei Silikatmaterial ist ein doppelter Statikmischer zu verwenden.
Materialtemperatur	Angabe für jede Mischung
Mischungsverhältnis	Angabe für jede Mischung
Mischungsverhältnis andere Bestandteile mit variablen Anteilen	Angabe für jede Mischung
Reaktionszeit Soll	Angabe in Abhängigkeit von der Temperatur, Angabe zum Bestimmungsverfahren
Reaktionszeit Ist	Angabe für jede Mischung

### 3.2 Injektionsverlauf

Der Injektionsverlauf ist durch nachfolgende Parameter zu dokumentieren (elektronisches Mess- und Aufzeichnungssystem empfohlen).

Angabe	Häufigkeit
Tag der Injektion	je Packer, Stufe u. Phase
Injektionsstoff	je Packer, Stufe u. Phase
Lage der Bohrung	je Bohrung
Materialverbrauch	je Packer, Stufe u. Phase
Injektionsdauer	je Packer, Stufe u. Phase
Verpressdruck	je Packer, Stufe u. Phase
Volumenstrom	je Packer, Stufe u. Phase
Injektionsabbruch	Kriterien festlegen
max. Injektionsmenge je Packer	je Packer nach Vorgabe
maximaler Injektionsdruck und Haltezeit	je Packer nach Vorgabe
Packerkontakt	je Packer, Stufe u. Phase
Materialaustritt aus Bauteil / Fugen	je Packer, Stufe u. Phase
Verformungsmessung	Festlegung von maximal zulässigen Verformungen, ggf. als Abbruchkriterium

### 4 Flankierende Maßnahmen

Angabe	Bemerkung
Verfügung / Verdämmung	erforderlich nicht erforderlich
vorherige Hohlraumfüllung	erforderlich nicht erforderlich
Probeinjektionen mit Wasser	Daten in gesonderter Anlage erforderlich nicht erforderlich
Wasserhaltung	erforderlich nicht erforderlich
Trocknung	erforderlich nicht erforderlich
Salzbehandlung	erforderlich nicht erforderlich
Schutzmaßnahmen	erforderlich nicht erforderlich Beschreibung der angewandten Art

## Abdichten von Bauwerken durch Injektion

Wesentliche und häufig auftretende Ursachen für Bauschäden sind der Wasser- und Feuchteeintritt an erdberührten Bauteilen. Zur Instandsetzung solcher Schäden gelangen zunehmend Materialien zur Anwendung, die durch Injektion in die betroffenen Bauteile oder den angrenzenden Baugrund eingebracht werden. Dabei handelt es sich neben langjährig bewährten Produkten in vielen Fällen auch um neu entwickelte innovative Injektionsstoffe. Für eine Reihe von Materialien und Verfahren existieren derzeit keine Regelwerke, so dass die Anwendung durchaus mit Risiken für Bauherren, Planer und ausführende Unternehmen behaftet sein kann.

Eine Arbeitsgruppe aus Fachleuten im Bereich der Planung, Ausführung, Materialherstellung, Bauüberwachung und Materialprüfung hat unter dem Dach der Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen (STUVA) nun die dritte, aktualisierte und deutlich ergänzte Ausgabe des inzwischen zum Standardwerk avancierten Merkblatts erarbeitet. Es spiegelt übersichtlich strukturiert den gegenwärtigen Stand auf dem Gebiet der nachträglichen Bauwerksabdichtung durch Injektionen wider. Gegenstand sind in erster Linie Stoffe und Applikationsverfahren zur Instandsetzung von Bauwerken und zum Füllen von Rissen. Besonders erwähnt seien in diesem Zusammenhang Gelschleierabdichtungen im Baugrund, flächige Injektionen in Bauteile, Riss- und Hohlrauminjektionen, der Einsatz von Injektionsschläuchen und Injektionskanälen sowie die Injektion von Bewegungsfugen.

ISBN 978-3-8167-9360-1



9 783816 793601

Fraunhofer IRB ■ Verlag