

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Anforderungen an Salzbeton als Baustoff für Abdichtungsbauwerke im Steinsalz

**Autor:** DBE


**Erscheinungsjahr:** 2009

**Unterlagen-Nr.:** G 296

**Revision:** 00


**Unterlagenteil:**



	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M			AJ			GH	BY	0064	00	

**Inhaltsverzeichnis**

	<b>Blatt</b>
1	5
2	6
3	8
3.1	8
3.2	11
4	13
4.1	13
4.2	14
4.3	14
4.4	15
4.4.1	15
4.4.2	18
4.4.3	19
4.5	19
4.5.1	19
4.5.2	19
4.6	19
5	21
5.1	21
5.2	21
5.3	22
5.4	22
6	23

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Allgemeine Rezepturangaben Salzbeton..... 11

Tabelle 2: Standardrezepturangaben zum Salzbeton M2..... 12

Tabelle 3: Einordnung der Materialanforderungen hinsichtlich der Bemessungssituationen..... 13


Tabelle 4: Ermittelte Zugfestigkeit von Salzbeton M2 und Haftzugfestigkeit der Kontaktzone Salzbeton M2 – Salz ..... 16

Tabelle 5: Ermittelte Druck- und Zugfestigkeiten von Salzbeton M2 ( $t_e = 56d$ ) ..... 17

Tabelle 6: Angaben der mittleren Zug-E-Moduli für Salzbeton M2 ..... 18

Gesamtblattzahl der Unterlage:


24

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

## 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Stilllegung werden die bestehenden Grubenbaue der Grubengebäude des ERAM mit Salzbeton verfüllt. Die Verfüllung dient der Stabilisierung der Grubengebäude sowie dem Erhalt der derzeit vorhandenen Salzbarriere. Des Weiteren wird das Lösungspotenzial an den Kalilagern durch die Verfüllung begrenzt. Durch die nahezu vollständige Verfüllung in weiten Teilen der Grubengebäude werden hydraulische Widerstände geschaffen, die die Bewegung von Salzlösungen in den Grubengebäuden generell einschränken und damit die Ausbreitung von kontaminierten Lösungen verzögern. Da diese Widerstände jedoch nicht quantifizierbar sind, ist vorgesehen, die Einlagerungsbereiche, in denen sich die radioaktiven Abfälle befinden, durch Streckenabdichtungen von den restlichen Grubengebäuden zu trennen. Hierdurch soll der Zutritt von Lösungen in die Einlagerungsbereiche verzögert und der Transport von Radionukliden aus den Einlagerungsbereichen verlangsamt werden. Zur Abdichtung der Schächte Bartensleben und Marie gegenüber dem Deckgebirge sind Schachtverschlüsse vorgesehen.

Diese Unterlage beschreibt die Anforderungen an die Materialeigenschaften des Baustoffs „Salzbeton“ und an dessen Ausgangsstoffe für die o.g. Streckenabdichtungen im Steinsalz.

	Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
	NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
	9M			AJ			GH	BY	0064	00	

## 2 Schutzziele


In Bezug auf die Materialeigenschaften des Salzbetons als Baustoff für Abdichtungsbauwerke sind die folgenden Schutzziele zu beachten:

- Schutz der Biosphäre vor den schädlichen Auswirkungen der radioaktiven Stoffe,
- Vorsorge gegen schädliche Grundwasserverunreinigung und
- Arbeitsschutz.

Wesentlicher Baustein zum Schutz der Biosphäre ist der Einbau von Abdichtungsbauwerken, die den Zutritt von Lösungen in die Einlagerungsbereiche zeitlich so verzögern und den Transport von Radionukliden aus den Einlagerungsbereichen so verlangsamen sollen, dass der Großteil der Radionuklide zerfallen ist, bevor die Radionuklide die Biosphäre erreichen können. Als Nachweiskriterium wird angenommen, dass die entsprechende Strahlenexposition unterhalb des Wertes von 0,3 mSv/a nach § 47, Abs. 1 der StrlSchV /5/ liegt. Im Hinblick auf den Salzbeton sind dessen Materialeigenschaften (u.a. Permeabilität, chemische Beständigkeit) so zu wählen, dass das o.g. Kriterium erfüllt wird. Diese Materialanforderungen werden in den folgenden Kapiteln näher ausgeführt.


Bei Kontakt fluider Phasen mit dem Verfüllmaterial ist eine Mobilisierung von Schadstoffen möglich. In diesem Fall ist in Bezug zum wasserrechtlichen Schutzziel sicherzustellen, dass schädliche Einwirkungen auf das Grundwasser und den Boden vermieden oder auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Entsprechend § 34 des WHG /1/ sind Stoffe so abzulagern, dass eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist. Werden normgerechte und überwachte Bauprodukte (hier Bindemittel, Zusatzmittel und -stoffe) verwendet, die gemäß Bauproduktengesetz /3/ handelsüblich sind und den technischen Anforderungen der Bauregelliste /2/ entsprechen, erfüllen diese Baustoffe die für die allgemeine Verwendbarkeit einschlägigen Anforderungen an die Umweltverträglichkeit. Ansonsten sind Eluatuntersuchungen an Probekörpern des ausgewählten Pumpversatzes durchzuführen, um die Konzentrationen von organischen und anorganischen Stoffen, die für eine Prüfung und Bewertung der Einhaltung des Schutzzieles aus dem Wasserrecht erforderlich sind, zu ermitteln. Die Baustoffe dürfen dann eingesetzt werden, wenn keine nachhaltigen Auswirkungen auf das Grundwasser zu besorgen sind.

Der Salzzuschlag (s. Kapitel 3) ist in diesem Zusammenhang als geogenes bzw. arteigenes Material zu bezeichnen und damit nicht Gegenstand weiterer Betrachtungen. Der Chloridgehalt in den Ausgangsstoffen bzw. im Versatz stellt kein Ausschlusskriterium dar.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

Im Hinblick auf das Schutzziel Arbeitsschutz besteht die Anforderung, dass der Salzbeton gemäß § 4, GesBergV /4/ für die untertägige Verwendung im Bergbau zugelassen ist. Zusätzlich ist vom Salzbeton der Grenzwert nach StrlSchV, Anhang XII /5/ von 200 Bq/kg einzuhalten.

ERA  
ERFA  
Morsleben

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

### 3 Materialanforderungen an die Ausgangsstoffe

#### 3.1 Zugelassene Baustoffe

Generell werden die Ausgangsstoffe so ausgewählt, dass unter Berücksichtigung des Herstellungsverfahrens und des gewählten Ausführungsverfahrens, z.B. der Einbringtechnologie, in Anlehnung an DIN EN 206-1 /7/ die festgelegten Anforderungen für die Frisch- und Festbetoneigenschaften des Salzbetons erfüllt werden (vgl. Kapitel 2 und 4).

Folgende Ausgangsstoffe (Komponenten) sind für die Herstellung des Salzbetons zulässig:

- Hochofenzement (CEM III),
- Betonzusatzstoff des Typs I und des Typs II,
- anorganische Betonzusatzmittel,
- Salzgrus bzw. Salzzuschlag inkl. sonstiger Zusatzstoffe,
- Gesteinskörnung natürlichen Ursprungs,
- Zugabewasser und
- Natriumchlorid-Lösung.

#### Hochofenzement

Es wird ein Hochofenzement verwendet, der den Anforderungen der DIN 1164-10 /8/ und DIN EN 197-1 /9/ sowie der Europäischen Chromatrichtlinie 2003/53/EG /10/ entspricht. Bei der Auswahl des Zements wird in Anlehnung an DIN EN 206-1 die Begrenzung der Wärmefreisetzung des Salzbetons beim Abbindeprozess beachtet (vgl. Abschnitt 4.3).

#### Betonzusatzstoffe des Typs I und II

Die anorganischen Betonzusatzstoffe des Typs I (nahezu inerte Betonzusatzstoffe, vgl. DIN EN 206-1) dienen zur Optimierung des Kornspektrums des Salzbetons und damit zur Einstellung von rheologischen Materialeigenschaften. Verwendet werden können:

- Genormte Baustoffe, wie Kalkstein nach DIN EN 197-1 (Abschnitt 5.2.6) oder Gesteinsmehle nach DIN EN 12620 /11/ und
- bauaufsichtlich zugelassene Stoffe.

Der organische Kohlenstoffanteil (TOC) der Betonzusatzstoffe Typ I darf maximal 2 Massen-% betragen. Der Anteil quellfähiger Minerale wird in Bezug auf Förderbarkeit und Verarbeitbarkeit im Rahmen des Eignungsnachweises des Salzbetons (s. Kapitel 5) beschränkt. Zusätzlich müssen die Betonzusatzstoffe frei von Fremdkörpern sein.



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M			AJ			GH	BY	0064	00



Als anorganische Betonzusatzstoffe des Typs II (puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe, vgl. DIN EN 206-1, Abschnitt 3.1.23) können verwendet werden:

- genormte Betonzusatzstoffe (s. DIN EN 206-1), wie Silikastaub (DIN EN 13263 /12/) und siliziumreiche Steinkohlenflugasche nach DIN EN 450 /13/ und
- bauaufsichtlich zugelassene Betonzusatzstoffe mit Ausnahme von Braunkohlenflug-/filteraschen.

Die Betonzusatzstoffe des Typs II müssen mit Ausnahme der Spezifikationen für NaCl und den Ton-/Silikatgehalt die chemisch/mineralogischen Anforderungen an den Salzzuschlag (s.u.) erfüllen. Bei sämtlichen Betonzusatzstoffen mit Ausnahme von Steinkohlenflugaschen nach DIN EN 450 ist der Anteil organischen Kohlenstoffs (TOC) auf maximal 0,5 Massen-% begrenzt.

Betonzusatzstoffe des Typs II leisten einen Beitrag zum Erzielen der Festbetoneigenschaften und dienen darüber hinaus zur Einstellung rheologischer Materialeigenschaften. Bei der Auswahl der Betonzusatzstoffe ist auf die Begrenzung der Wärmeentwicklung des Salzbetons beim Abbindeprozess (Materialanforderung, s. Kapitel 4.3) zu achten. Zusätzlich müssen die Betonzusatzstoffe frei von Fremdkörpern sein.

Salzgrus bzw. Salzzuschlag inkl. sonstiger Zusatzstoffe

Der Salzzuschlag muss geogenen Ursprungs sein. Die Korngrößenverteilung des Salzzuschlags soll folgende Charakteristik aufweisen:

- $d_{50} < 2 \text{ mm}$  (50 % des Siebdurchgangs kleiner 2 mm),
- $d_{80} < 5 \text{ mm}$  (80 % des Siebdurchgangs kleiner 5 mm),
- $d_{95} < 12 \text{ mm}$  (95 % des Siebdurchgangs kleiner 12 mm),
- Obere Korngrenze (Größtkorn  $D_{max}$ ) < 20 mm.

An die chemisch/mineralogische Zusammensetzung des Salzzuschlags (bezogen auf den Trockenrückstand bei 105°C) werden folgende Mindestanforderungen gestellt:

- NaCl-Gehalt: > 85 Massen-%,
- CaSO<sub>4</sub>-Gehalt: < 10 Massen-%,
- MgCl<sub>2</sub>-Gehalt: < 3 Massen-%,
- MgSO<sub>4</sub>-Gehalt: < 3 Massen-%,
- CaCl<sub>2</sub>-Gehalt: < 0,5 Massen-%,
- Ton-/Silikatgehalt: < 5 Massen-%.



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M			AJ			GH	BY	0064	00



Die Summe der Anteile von  $MgCl_2$  und  $MgSO_4$  des getrockneten Salzzuschlages darf bei der Herstellung des Salzbetons 4 % Massenanteil nicht übersteigen. Sofern dem Salzzuschlag Rieselhilfen (Antibackmittel) zugegeben werden, muss es sich bei diesen sonstigen Zusatzstoffen um anorganische Stoffe handeln. Verwendet werden können Calcium- und Magnesiumcarbonat, sowie natürliche, silikatische Stoffe. Bei der Verwendung natürlicher, silikatischer Stoffe ist die für den Salzzuschlag geltende Begrenzung des Ton-/Silikatgehaltes zu beachten.

Silikatische Gesteinskörnung natürlichen Ursprungs

Als Gesteinskörnung (vgl. DIN EN 206-1, Abschnitt 3.1.24) geogenen bzw. natürlichen Ursprungs kann feine Gesteinskörnung ( $D \leq 4 \text{ mm}$ ) gemäß DIN EN 12620 oder DIN EN 13139 /14/ verwendet werden.

Der organische Kohlenstoffanteil (TOC) der Gesteinskörnung darf maximal 2 Massen-% betragen. Der Anteil quellfähiger Minerale wird in Bezug auf Förderbarkeit und Verarbeitbarkeit im Rahmen des Eignungsnachweises des Salzbetons (s. Kapitel 5) beschränkt. Darüber hinaus muss die feine Gesteinskörnung mit Ausnahme der Spezifikationen für NaCl und den Ton-/Silikatgehalt die chemisch/mineralogischen Anforderungen an den Salzzuschlag (s.o.) erfüllen.


Betonzusatzmittel

Zur Verbesserung der Salzbetoneigenschaften können als Zusatzmittel Betonverflüssiger (BV), Fließmittel (FM), Verzögerer (VZ), Stabilisierer (ST) verwendet werden. Die Zusatzmittel erfüllen die Vorgaben der DIN EN 934-2 /15/ (vgl. DIN EN 206-1). Zusätzlich können Schwindreduzierer/-kompensierer eingesetzt werden. Im Rahmen des Eignungsnachweises des Salzbetons (s. Kapitel 5) werden die Wirksamkeit und Unschädlichkeit der Betonzusatzmittel hinsichtlich der Materialeigenschaften des Salzbetons geprüft.

Die Gesamtmenge an Zusatzmittel darf 40 g pro Kilogramm Zement bzw. eventuell niedrigere Höchstdosierungsangaben des Zusatzmittelherstellers nicht überschreiten. Das Produkt ist in Anlehnung an die Norm DIN 1045-2 /16/ einzusetzen.

Zugabewasser und Natriumchlorid-Lösung

Als Zugabewasser (Anmachwasser) wird Trink-/Frischwasser (gemäß TrinkwV /17/) oder Salzlösung verwendet. Die Salzlösung muss die Anforderungen der „Richtlinie für die Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) /18/ erfüllen. Abweichend von der DAfStb-Richtlinie ist der Chloridgehalt der Salzlösungen kein Ausschlusskriterium. Des Weiteren ist der maximale Schwebstoffanteil auf maximal 1,0 Massen-% zu begrenzen.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

Die bei der Bauausführung beim Reinigen der Förderanlage und der Rohrleitungen anfallenden Spül- und Reinigungswässer - hochkonzentrierte Salzlösungen, in denen u.a.  $MgCl_2$  und  $MgSO_4$  gelöst sind - können bei der Herstellung des o.g. Zugabewassers mit verwertet werden. Bei Verwertung werden diese Wässer mit einem für den Salzbeton unschädlichen Mg-Gehalt eingestellt.


### 3.2 Rezepturangaben

Auf Grundlage der zugelassenen Baustoffe nach Kapitel 3.1 werden die in Tabelle 1 aufgeführten Rezepturbereiche festgelegt, wobei für jede vorgesehene Rezeptur die Materialanforderungen nach Kapitel 4 zu erfüllen sind. Abweichend von DIN EN 206-1 dürfen Betonzusatzstoffe des Typs II bei der Betonzusammensetzung nicht auf den Zementgehalt und den Wasserzementwert angerechnet werden.

Salzbetonkomponente	Anteil Ausgangsstoff [kg/m³]	
Hochofenzement (CEM III)	> 296	Summe Zement, Zusatzstoff Typ I und Typ II > 450 und < 800
Betonzusatzstoff Typ I	Summe Betonzusatzstoff Typ I und Typ II > 200 und < 550	
Betonzusatzstoff Typ II		
Salzzuschlag	> 760	
Gesteinskörnung	< 350	
Zugabewasser	nach Wasseranspruch unter Einhaltung aller Materialanforderungen	
Betonzusatzmittel	≤ 40 g/kg Zement	

Tabelle 1: Allgemeine Rezepturangaben Salzbeton

Die bisher verwendete Standardrezeptur für den Salzbeton M2 inkl. der geringfügigen, versuchstechnisch bedingten Rezepturmodifikationen stellt eine mögliche Variante dar, die bereits die Materialanforderungen nach Kapitel 4 erfüllt. Sie dient somit als Referenzfall für mögliche Rezepturvarianten entsprechend Tabelle 1.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

Salzbetonkomponente	Anteil Ausgangsstoff [kg/m <sup>3</sup> ]	
Hochofenzement (CEM III)	328 ± 32	Summe Zement und Zusatzstoff Typ II > 500
Betonzusatzstoff Typ II (Steinkohlenflugasche)	328 ± 32	
Salzzuschlag	1.072 ± 108	
Gesteinskörnung	0	
Zugabewasser	267*	
Anorganisches Betonzusatzmittel	≤ 40 g/kg Zement	Keine Beschleuniger

\*Kann in Abhängigkeit des Wasseranspruchs variieren.

Tabelle 2: Standardrezepturangaben zum Salzbeton M2

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M			AJ			GH	BY	0064	00



#### 4 Materialanforderungen an den Salzbeton

##### 4.1 Allgemeines

Aus den nachfolgend aufgeführten Materialeigenschaften des Referenzbaustoffs Salzbeton M2 leiten sich die Materialanforderungen an Salzbetonrezepturen nach Kapitel 3.2 ab. Sie sind, wie in Tabelle 3 dargestellt, für verschiedene Bemessungssituationen zu erfüllen.

Anforderung	Bemessungssituation		
	Bauzustände	Trockenes Endlager	Zugelaufenes Endlager*
Rheologische Anforderungen	X		
Thermodynamische Anforderungen	X		
Anforderungen an mechanische Eigenschaften	X	X	X
Hydraulische Anforderungen			X
Chemische Anforderungen			X


\* voller Laugendruck  
 X Geltungsbereich

Tabelle 3: Einordnung der Materialanforderungen hinsichtlich der Bemessungssituationen

Die Bauzustände umfassen den Zeitraum des spannungsfreien Einbaus des Salzbetons bis zu einem Betonalter von ca. 56 Tagen unter den ERAM-Bedingungen für den Salzbeton M2. Maßgebend für die Bauzustände ist der Nachweis der Rissbeschränkung aus der Kombination von thermischer Kontraktion und autogenem Schwinden beim Salzbeton M2 für die spätere Erfüllung der hydraulischen Anforderungen und der Festigkeitsanforderungen. Die rheologischen Anforderungen betreffen die eigentliche Bauwerkserstellung.

Die Bemessungssituation „Trockenes Endlager“ umfasst den Zeitraum Ende „Bauzustände“ bis zum Beginn des Zulaufs des Endlagers, der im Folgenden in einen frühen Zeitabschnitt in der Größenordnung der Lebensdauer üblicher Ingenieurbauwerke von ca. 100 Jahren und in einen späten Zeitabschnitt in der Größenordnung mehr als 100 bis zu ca. 1.000 Jahren und später aufgeteilt wird. Maßgebend ist der Nachweis der Rissbeschränkung in Folge von Beanspruchungen aus kombinierten Einwirkungen (Eigengewicht, Gebirgsdruck, ggf. Vorspannung und Relaxation aus Injektion, Kriechen, Bauwerk-Baugrund-Wechselwirkung) für die spätere Erfüllung der hydraulischen Anforderungen.

Die Bemessungssituation „Zugelaufenes Endlager“ setzt mit dem Zeitpunkt des Zulaufs des Endlagers ein. Maßgebend ist hier der Nachweis der Rissbeschränkung in Folge von Beanspruchungen aus kombinierten Einwirkungen (Eigengewicht, Gebirgsdruck, Fluiddruck, ggf.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

Vorspannung und Relaxation aus Injektion, Kriechen, Bauwerk-Baugrund-Wechselwirkung), der Dichtigkeit und einer ausreichenden Langzeitstabilität (Dauerhaftigkeit).

#### 4.2 Anforderungen an die Förderbarkeit und Verarbeitbarkeit

Aus der Einbringtechnologie (hydraulischer Transport) resultieren Anforderungen an die rheologischen Materialeigenschaften des Salzbetons. So ist zu gewährleisten, dass eine Förderung des ggf. übertäglich konditionierten Salzbetons in die abzudichtenden Streckenabschnitte problemlos möglich ist und dass das in die Strecke gepumpte Material zu einem homogenen Abdichtungskörper erhärtet.

Dies wird gewährleistet, wenn

- der Salzbeton fließfähig ist (Setzfließmaß),
- der Salzbeton hydraulisch förderbar ist sowie
- Sedimentations- bzw. Absetzerscheinungen während des Förderprozesses sowie bei ruhender Suspension mit dem Ziel der Herstellung eines homogenen Baustoffs beschränkt werden.

Für die vollständige Verfüllung des Streckenabschnitts mit einer Firstanbindung des Salzbetonkörpers lauten die Anforderungen wie folgt:


- Der Fließwinkel beträgt  $\leq 2,5$  Gon.
- Im Steinsalz werden Anlöse- bzw. Umlöseprozesse an den Konturen der Strecke durch den Salzbeton vermieden.
- Der Salzbeton gibt nur in so beschränktem Maße Überschuslösung ab, dass die Anforderungen an die Materialeigenschaften gewährleistet werden.
- Der Salzbeton lässt eine Betonage „frisch in frisch“ zu.

#### 4.3 Thermodynamische Anforderungen

Der Salzbeton wird als Massenbaustoff verwendet, d.h. dass die im Verlauf der Hydratation stattfindenden exothermen Abbindereaktionen und die hieraus resultierende Volumenausdehnung nicht vernachlässigbar sind. Es bestehen daher Anforderungen an die Temperaturerhöhung im Verlauf der Salzbetonerhärtung sowie an den Wärmeausdehnungskoeffizienten:

- Die adiabate Temperaturerhöhung sollte gering gehalten werden.



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

- Für den linearen Wärmeausdehnungskoeffizient wird eine Obergrenze von  $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$  vorgegeben. Die Obergrenze entspricht damit dem Wärmeausdehnungskoeffizient von Salz.

Berechnungen für den M2 wurden mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von  $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ , einer Wärmeleitfähigkeit von  $1,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  und einer Wärmekapazität von  $1.841 \text{ kJ/(m}^3\cdot\text{K)}$  geführt. Die adiabate Temperaturerhöhung des Salzbetons M2 betrug 45 K nach 14 Tagen.

Grundsätzlich sind daher Bindemittel zu verwenden, die im Sinne der DIN 1164 /8/ eine niedrige Hydratationswärmeentwicklung aufweisen. Die Einbautemperatur des Salzbetons unter Tage ist dabei zu beachten. Für die Standardrezeptur M2 wird von einer Einbautemperatur von  $\leq 30^\circ\text{C}$  ausgegangen.

#### 4.4 Festigkeitsanforderungen

##### 4.4.1 Zug- und Druckfestigkeiten


###### Bauzustände:

Während der Erhärtung des Abdichtungsbauwerks entstehen durch Zwangbedingungen Zwangspannungen im Bauwerk selbst und im angrenzenden Gebirge. Die Zwangspannungen resultieren aus der Steifigkeitsentwicklung des Salzbetons, der thermischen Aufheizung und anschließenden Abkühlung des Abdichtungsbauwerkes durch die Zementerhärtung und das autogene Schwinden des Salzbetons während der Erhärtung.

Die beim Abbinden des Baustoffs entstehende Hydratationswärme führt zunächst zu einer Überdrückung des Abdichtungsbauwerks. Die dabei entstehenden Druck- und Scherbeanspruchungen liegen weit unterhalb kritischer Werte. Sie werden daher hier nicht weiter betrachtet.

Die Gefahr von Zugspannungen, die zu Rissen führen können, ist gegeben, wenn die größte Hauptnormalspannung die aktuelle Bauwerkszugfestigkeit überschreitet. Berechnungen zur Rissentwicklung bei Abdichtungsbauwerken aus Salzbeton M2 zeigen, dass eine Rissbildung – wenn sie auftritt - mit hoher Sicherheit in der Kontaktzone Salzbeton - Salzgestein stattfindet. Hydraulisch wirksame Wegsamkeiten in der Kontaktzone werden nachträglich zielgerichtet und systematisch mit Hilfe einer geeigneten Injektionsmaßnahme verpresst.

Tritt keine Rissbildung in der Kontaktzone auf, ist dies auf den Nachweis ohne Einfluss. Für die Auslegung des Bauwerks selbst werden konstruktive Maßnahmen berücksichtigt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

Für eine zuverlässig auftretende Rissbildung in der o.g. Kontaktzone ist die allgemeine Anforderung

$$\text{Zugfestigkeit } f_{ct} \text{ Salzbeton} > \text{Haftzugfestigkeit } f_{tf} \text{ Kontaktzone Salzbeton – Salz} \quad (1),$$

einzuhalten.

In Tabelle 4 ist hierzu die Zugfestigkeit des Salzbetons M2 in Abhängigkeit vom wirksamen Betonalter  $t_e$  auf der Grundlage von neueren, umfangreicheren Untersuchungen angegeben. Wie in Berechnungen aufgezeigt, bilden sich Zugspannungen im Salzbeton M2 infolge der thermischen Überdrückung am Standort rechnerisch etwa erst ab 10 Tagen aus. Demzufolge werden (Haft-)Zugfestigkeiten mit einem wirksamen Alter von < 10 Tagen für den M2 nicht berücksichtigt.

Wirksames Betonalter $t_e$ [d]	14	28	56
<b>Zugfestigkeit <math>f_{ct}</math> Salzbeton M2 [MPa]</b>			
Mittelwert $m_R$	1,0888	2,4279	3,2500
Standardabweichung $\sigma_R$	0,2174	0,4937	0,4333
5%-Fraktil $f_{ct,5\%}$	0,7312	1,6156	2,5373
95%-Fraktil $f_{ct,95\%}$	1,4463	3,2401	3,9627
<b>Haftzugfestigkeit <math>f_{tf}</math> Kontaktzone Salzbeton – Salz M2 [MPa]</b>			
Mittelwert $m_E$	0,2447	0,5821	0,7007*
Standardabweichung $\sigma_E$	0,0350	0,1301	0,1754*
5%-Fraktil $f_{tf,5\%}$	0,1871	0,3681	0,4122*
95%-Fraktil $f_{tf,95\%}$	0,3023	0,7962	0,9891*

\* wirksames Betonalter = 51d


Tabelle 4: Ermittelte Zugfestigkeit von Salzbeton M2 und Haftzugfestigkeit der Kontaktzone Salzbeton M2 – Salz

Trockenes Endlager (Früher Nachweiszeitraum)

Gegenüber den Bauzuständen nehmen die thermische Kontraktion sowie das autogene Schwinden deutlich ab bzw. verschwinden und die typischen, mechanischen Einwirkungen auf ein unterirdisches Ingenieurbauwerk gewinnen an Bedeutung. Dem gemäß werden für diese Phasen entsprechende Druck- und Zugfestigkeiten für den Salzbeton im Hinblick auf eine Rissbeschränkung definiert.

Rechnerisch wurden als Grenzwerte der zulässigen Beanspruchung die Bemessungswerte der Druck- und Zugfestigkeiten zu 9,6 MPa bzw. 0,66 MPa bei einem wirksamen Betonalter  $\geq 56$  Tage ermittelt. In Anlehnung an /6/ und /19/ ergeben sich bei Berücksichtigung eines Teils-



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

cherheitsbeiwertes für Materialfestigkeiten von 1,5 und eines Teilsicherheitsbeiwertes für das Betontragverhalten zum Nachweis der Dichtheit von 1,25 die folgenden Festigkeitsanforderungen:

Druckfestigkeit  $f_{cc,5\%, \text{gef.}} \geq 18 \text{ MPa}$  und (2)

Zugfestigkeit  $f_{ct,5\%, \text{gef.}} \geq 1,25 \text{ MPa}$ . (3)

In Anlehnung an DIN EN 206 werden bei einem wirksamen Betonalter  $\geq 56$  Tage folgende Konformitätskriterien definiert, die wie in Tabelle 5 dargestellt für den Salzbeton M2 auf der Grundlage von neueren, umfangreicheren Untersuchungen erreicht werden:

Druckfestigkeit:

Mittelwert  $m_R \geq f_{cc,5\%} + 4$  bei Erstherstellung und (4)

$\geq f_{cc,5\%} + 1,48 \sigma_R$  bei stetiger Herstellung. (5)

Zugfestigkeit:


Mittelwert  $m_R \geq f_{ct,5\%} + 0,5$  bei Erstherstellung und (6)

$\geq f_{ct,5\%} + 1,48 \sigma_R$  bei stetiger Herstellung. (7)

Weiterhin wird in Anlehnung an DIN EN 206 ein Vorhaltemaß für die Druckfestigkeit  $f_{cc,5\%, \text{gef.}}$  aufgestellt, das Schwankungen bei der Salzbetonherstellung, beim Transport und Einbau des Salzbetons berücksichtigt. Dieses Vorhaltemaß sollte ungefähr das Doppelte der (erwarteten) Standardabweichung sein und wird hier nach Tabelle 5 vorsichtig zu 5 MPa festgelegt.

Wirksames Betonalter $t_e$ [d]	56
Druckfestigkeit [MPa]	
Mittelwert $m_R$	29,81
Standardabweichung $\sigma_R$	2,4973
5%-Fraktil $f_{cc,5\%}$	25,70
95%-Fraktil $f_{cc,95\%}$	33,92
Zugfestigkeit [MPa]	
Mittelwert $m_R$	3,2500
Standardabweichung $\sigma_R$	0,4333
5%-Fraktil $f_{cc,5\%}$	2,5373
95%-Fraktil $f_{cc,95\%}$	3,9627

Tabelle 5: Ermittelte Druck- und Zugfestigkeiten von Salzbeton M2 ( $t_e = 56d$ )

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

Trockenes Endlager (Später Nachweiszeitraum)

Der Nachweis der Rissbeschränkung wird über die Einhaltung der Dilatanzbedingung gemäß Gleichung (8) geführt. Die Dilatanzgrenze des Salzbetons muss bei kleiner Verzerrungsgeschwindigkeit ( $\leq 10^{-6}$  1/s) mindestens der Dilatanzgrenze für Steinsalz entsprechen.

$$\frac{\tau}{\sigma^*} \leq -0,01697 \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma^*}\right)^2 + 0,8996 \cdot \frac{\sigma}{\sigma^*} \quad (8)$$

mit

$$\tau = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (\text{Oktaederspannung})$$

$$\sigma = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (\text{mittlere Spannung})$$

$$\sigma^* \quad (\text{Bezugsspannung})$$

Die Dilatanzgrenze für Salzbeton M2 liegt systematisch über der Dilatanzgrenze für Salz.

Zugelaufenes Endlager

Es gelten die Anforderungen der Bemessungssituation „Trockenes Endlager“.

**4.4.2 Elastizitätsmodul**


Der Elastizitätsmodul des Salzbetons hängt vom Abbindeprozess ab, d.h. er ist an den Hydrationsprozess gekoppelt. Für das Material ist ein erhärtungsabhängiger Zug-E-Modul-Verlauf so zu ermitteln und nachzuweisen, dass eine potenzielle Rissbildung in Verbindung mit der adiabaten Temperaturerhöhung und dem autogenen Schwinden auf die Kontaktfuge beschränkt bleibt.

In Tabelle 6 sind die altersabhängigen Mittelwerte des Zug-E-Moduls für den Salzbeton M2 angegeben. Für ihre Herleitung wurde das Sekantenmodul zwischen 5 und 55 % der Zugfestigkeit verwendet.

Wirksames Betonalter $t_e$ [d]	10	14	28	56
Mittlerer Zug-E-Modul [GPa]	4,20	6,92	15,06	17,48

Tabelle 6: Angaben der ermittelten, mittleren Zug-E-Moduli für Salzbeton M2

Im Hinblick auf die Bemessungssituationen „Trockenes Endlager“ und „Zugelaufenes Endlager“ wird der Elastizitätsmodul mit ca. 15 GPa als Mittelwert angesetzt.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	01	

#### 4.4.3 Schwinddehnung

##### Autogenes Schwinden

Zur Vermeidung einer Rissbildung innerhalb des Baukörpers in Längsrichtung ist die maximal zulässige Schwinddehnung zu beschränken. Für den Salzbeton M2 ist hierbei eine Obergrenze von 0,5 mm/m, entsprechend 0,05 % im Mittel einzuhalten.

##### Trocknungsschwinden

In Bezug auf die Bemessungssituation „Trockenes Endlager“ muss das Trocknungsschwinden des Salzbetons gegenüber dem Salzkriechen vernachlässigbar sein. Für den Salzbeton M2 wird eine entsprechende Obergrenze bei Lagerung im Normalklimat 20/65 aus der Differenz „Endschwindmaß minus Gesamtschwindmaß (Autogenes Schwinden plus Trocknungsschwinden) nach 56 Tagen (Abklingen des autogenen Schwindens)“ mit  $\leq 0,2$  mm/m definiert.

#### 4.5 Hydraulische Anforderungen

##### 4.5.1 Permeabilität

Zur Gewährleistung des erforderlichen hydraulischen Widerstands der Abdichtungsbauwerke muss die Permeabilität des Abdichtungsbaustoffs  $< 10^{-19}$  m<sup>2</sup> betragen. Beim Salzbeton M2 wurden Gaspermeabilitäten von  $6,1 \cdot 10^{-20}$  bis  $9,2 \cdot 10^{-21}$  m<sup>2</sup> gemessen. Eine Laugenpermeabilität des Salzbetons M2 war nicht nachweisbar.


##### 4.5.2 Porosität

Wie Normalbeton verfügt der Salzbeton über ein Porensystem. Die Gesamtporosität des Materials muss zwischen 15 und 25 % betragen. Die Gesamtporosität des Salzbetons M2 wurde zu 18 % ermittelt.

#### 4.6 Chemische Anforderungen


In der Bemessungssituation „Zugelaufenes Endlager“ stehen neben den o.g. mechanischen Einwirkungen (s. Kapitel 4.4) auch chemische Einwirkungen durch die anstehende Salzlösung gemäß den standortspezifischen Verhältnissen an. Die Geschwindigkeit, mit der eine Abdichtung korrodiert, hängt wesentlich von ihrer Permeabilität und ihren Festigkeitseigenschaften ab. Zur Prognose des langfristigen Verhaltens der Abdichtungen im Kontakt mit salinaren Lösungen können geochemische Modellrechnungen herangezogen werden. Der chemische Angriff auf das Abdichtungsbauwerk wird hierbei durch gesättigte NaCl- und IP21-Lösung repräsentiert.

Bei Verwendung modifizierter Rezepturen nach Tabelle 1 müssen Korrosionsuntersuchungen durchgeführt und simulationsgestützt das volumenbezogene Korrosionspotential bestimmt wer-

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	01	

den. Als Korrosionspotential wird dabei das Feststoffvolumen des Salzbetons ohne Porosität verstanden, das durch einen Kubikmeter Mg-gesättigter Lösung bis zur vollständigen Zerstörung der CSH-Phasen umgesetzt werden kann. Die entsprechende Anforderung an das Korrosionspotential beträgt dann  $\leq 3$ .



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	01	

## 5 Nachweis der Eignung des Salzbetons

### 5.1 Allgemeines


Die Qualität des Salzbetons wird durch einen auf die Anforderungen hinsichtlich der Streckenabdichtungen abgestimmten Eignungsnachweis überprüft. Dies betrifft sowohl das Referenzmaterial Salzbeton M2 als auch mögliche Rezepturvarianten nach Tabelle 1. In einem Prüfplan werden die einzelnen Verfahrensschritte aufgeführt. Diese reichen von der Eignungsprüfung des Salzbetons bis zur Güteüberwachung.

### 5.2 Eignungsprüfung

Im Rahmen der Eignungsprüfung wird nachgewiesen, dass die in Kapitel 4 beschriebenen Anforderungen an den Baustoff erfüllt werden. Die Bestimmungen der Materialeigenschaften basieren auf Normen und Richtlinien aus den Bereichen der Betontechnologie, der Prüfung und Überwachung von Baustoffen bzw. auf geeigneten Verfahrensanweisungen. Darüber hinausgehende Prüfungen werden analog zu denen am M2 durchgeführt. Im Folgenden sind die durchzuführenden Prüfungen bzw. Einzelnachweise aufgeführt:

- Mineralogie Salzzuschlag
- Güteprüfung Zement
- Korngrößenverteilung des Salzzuschlags und der Gesteinskörnung natürlichen Ursprungs,
- Fließwinkel,
- Temperaturverlauf unter adiabatischen Bedingungen,
- linearer Wärmeausdehnungskoeffizient,
- Wärmeleitfähigkeit,
- Wärmekapazität,
- Entwicklung der mechanischen Eigenschaften (E-Modul, einaxiale Druck- und Zugfestigkeit),
- Schwinddehnung (Trocknungsschwinden, autogenes Schwinden),
- Permeabilität,
- Porosität und
- Korrosionspotential.

Für die in diesem Bericht genannten Nachweise wurden die entscheidenden Materialeigenschaften identifiziert. Diese müssen im Rahmen der Eignungs- und Güteprüfung kontrolliert werden. Wenn Werte denen von M2 entsprechen, können die Nachweise als geführt angesehen werden. Sollten einzelne Werte oder Kombinationen davon abweichen, sind Teilnachweise für das Bauwerk ggf. neu zu führen.

Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	01	

Bei Verwendung von Bindemitteln oder Zusatzstoffen, die nicht nationalen oder europäischen Normen entsprechen, sind zusätzlich hinsichtlich der Umweltverträglichkeit materialspezifische Eluate zu prüfen.

### 5.3 Erstprüfung unter Baustellenbedingungen

Die Erstprüfung unter Baustellenbedingungen dient dem Nachweis, dass die geforderten Materialeigenschaften des Baustoffes eingehalten werden. Sie wird auch erforderlich bei wesentlichen Änderungen der Ausgangsstoffe und Modifizierungen der Rezeptur. Die Bestimmungen der Materialeigenschaften basieren auf Normen und Richtlinien aus den Bereichen der Biontechnologie, der Prüfung und Überwachung von Baustoffen bzw. auf geeigneten Verfahrensanweisungen. Darüber hinausgehende Prüfungen werden analog zu denen am M2 durchgeführt. Folgende Materialeigenschaften sind zu prüfen:

- Mineralogie Salzzuschlag
- Güteprüfung Zement
- Korngrößenverteilung des Salzzuschlags und der Gesteinskörnung natürlichen Ursprungs,
- Fließwinkel,
- Temperaturentwicklung unter adiabatischen Bedingungen,
- linearer Wärmeausdehnungskoeffizient,
- Wärmeleitfähigkeit,
- Wärmekapazität,
- Entwicklung der mechanischen Eigenschaften (E-Modul, einaxiale Druck- und Zugfestigkeit),
- Schwinddehnung (Trocknungsschwinden, autogenes Schwinden),
- Permeabilität,
- Porosität und
- Korrosionspotential.

### 5.4 Güteüberwachung

Die Güteüberwachung des Salzbetons umfasst die Eigenüberwachung (Fertigungskontrolle) und den Gütenachweis entsprechend /7/. Unter Eigenüberwachung fallen alle Maßnahmen, um eine den Anforderungen entsprechende Qualität des Salzbetons zu erzielen, unter Gütenachweis Maßnahmen und Entscheidungen zur Überprüfung der Konformität.

Ergänzend ist eine Fremdüberwachung vorgesehen.




Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9M			AJ			GH	BY	0064	00



## 6 Verwendete Unterlagen

- /1/ Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz, WHG) in der Fassung vom 18.08.2002, BGBl. I, S. 3245; zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008, BGBl. I, S. 2986
- /2/ Bauregelliste A, B und C, DIBt Mitteilungen, in der jeweils gültigen Fassung
- /3/ Bauproduktengesetz (BauPG) - Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte und anderer Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaften – vom 28. April 1998, BGBl. I, S. 812; zuletzt geändert durch Art. 76 der Verordnung vom 31.10.2006, BGBl. I, S. 2407
- /4/ Bergverordnung zum gesundheitlichen Schutz der Beschäftigten (Gesundheitsschutz-Bergverordnung - GesBergV), vom 31. Juli 1991, BGBl. I, S. 1751; zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 10. August 2005, BGBl. I, S. 2452
- /5/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen - Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), vom 20. Juli 2001, BGBl. I, S. 1714; zuletzt geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 29. August 2008, BGBl. I, S. 1793
- /6/ DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion, August 2008
- /7/ DIN EN 206-1: Beton – Teil 1: Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000, Juli 2001
- /8/ DIN 1164-10: Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen, Übereinstimmungsnachweis, August 2004
- /9/ DIN EN 197-1: Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung EN 197-1:2000 + A1:2004, August 2004; berichtigt durch Berichtigung 1 von November 2004
- /10/ Richtlinie 2003/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2003 zur 26. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Nonylphenol, Nonylphenoethoxylat und Zement), ABI EU, 2003, Nr. L 178, S. 24; berichtigt durch ABI EU, 2006, Nr. L 10, S. 72 vom 14. Januar 2006
- /11/ DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton; Deutsche Fassung EN 12620:2002 +A1:2008, Juli 2008
- /12/ DIN EN 13263-1: Silikastaub für Beton - Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien; Deutsche Fassung EN 13263-1:2005, Oktober 2005
- /13/ DIN EN 450-1: Flugasche für Beton - Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien; Deutsche Fassung EN 450-1:2005+A1:2007, Mai 2008



Projekt	PSP-Element	Obj.Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN	
9M			AJ			GH	BY	0064	00	

- /14/ DIN EN 13139: Gesteinskörnungen für Mörtel; Deutsche Fassung EN 13139:2002, August 2002; berichtigt durch Berichtigung 1 von Dezember 2002
- /15/ DIN EN 934-2: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Teil 2: Betonzusatzmittel; Definitionen und Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung; Deutsche Fassung EN 934-2:2001, Februar 2002
- /16/ DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1, August 2008
- /17/ Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung (Artikel 1 Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001)) vom 21. Mai 2001, BGBl. I, S. 959; zuletzt geändert durch Art. 363 der Verordnung vom 31.10.2006, BGBl. I, S. 2407
- /18/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DafStb): Richtlinie für die Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser, Restbeton und Restmörtel, August 1995
- /19/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, Oktober 2004