

# Anlage VI zu:

## Entwurf von hydrogeothermischen Anlagen an deutschen Straßentunneln

von

Christian Moormann  
Patrik Buhmann

Institut für Geotechnik (IGS)  
Universität Stuttgart

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 141 – Anhang

**bast**

# **Fachtechnische Vorbereitung von geothermischen Pilotanwendungen bei Grund- und Tunnelbauwerken**

**FE 15.0541/2011/BRB**

Anlage VI – Laboruntersuchung  
Füssen

Phase: Grundlagenermittlung  
Stand: 30.11.2016

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Prüfberichte .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisauswertungen.....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>12</b>

## 1 Allgemeines

Für den Tunnel Füssen erfolgten im Zug der Grundlagenermittlung zwei Probenahmen und entsprechende labortechnische Untersuchungen. Die Wasserproben wurden als Mischprobe am Nordportal aus den dort austretenden Ost- und Westulmendrainagen genommen. Die Probenahme erfolgte mit durch das Prüflabor zur Verfügung gestellten Probebehältern entsprechend der vorgegebenen Entnahmevorschrift.



Abbildung 1: Beprobungsbehälter Drainagewasser

Nach erfolgter Probennahme wurden die Wasserproben in das Untersuchungslabor überführt.

Folgende Probebezeichnung wird im Folgenden verwendet:

Name	Bezeichnung
TF-N-1	Tunnel Füssen – Nordportal – Probe 1 24.09.2015
TF-N-2	Tunnel Füssen – Nordportal – Probe 2 13.01.2016

Tabelle 1: Probenbezeichnung

Die Wasseranalyse wurde durch das Labor EU-ROFINS Umwelt Ost GmbH mit Sitz in Jena durchgeführt. Die Akkreditierung des Prüflabors ist dem Kapitel 5 der Anlage V - Laboruntersuchung Rennsteig zu entnehmen.

Im Folgenden werden in Kapitel 1 zunächst die entsprechenden Prüfberichte gezeigt, die die Grundlage für die entsprechende Bewertung innerhalb der Kapitel 3 und 4 bilden.

## 2 Prüfberichte



### Prüfbericht zu Auftrag 61522882

Nr. 6014687002N1 Seite 1 von 3

EUROFINS Umwelt Ost GmbH · Lößstedter Straße 78 · D-07749 Jena

**Universität Stuttgart**  
**IGS Institut für Geotechnik**  
**Pfaffenwaldring 35**

**70569 Stuttgart**

**Titel: Prüfbericht zu Auftrag 61522882**  
**Prüfberichtsnummer: Nr. 6014687002N1**

**Projektnummer: Nr. 6014687**  
**Projektbezeichnung: Wasseruntersuchung**  
**Probenumfang: 1 Probe**  
**Probenart: Grundwasser**  
**Probenahmezeitraum: 24.09.2015**  
**Probenehmer: Auftraggeber**  
**Probeneingang: 25.09.2015**  
**Prüfzeitraum: 25.09.2015 - 05.11.2015**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB), sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit unter <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx> einsehen.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkundenanlage aufgeführten Prüfverfahren.

Jena, den 08.03.2016

**Dr. A. Herschel**  
**Prüfleiter**  
**03641 / 46 49 - 81**



EUROFINS Umwelt Ost GmbH  
Lößstedter Straße 78  
D-07749 Jena

Tel. +49 (0) 3641 4649-0  
Fax +49 (0) 3641 4649-19  
[www.eurofins-umwelt-ost.de](http://www.eurofins-umwelt-ost.de)  
[info\\_jena@eurofins.de](mailto:info_jena@eurofins.de)

Amtsgericht Jena  
HRB 202596  
USt-ID.Nr. DE 151 28 1997

Geschäftsführer: Dr. Ulrich Erler,  
Dr. Benno Schneider,  
Axel Ulbricht

Bankverbindung: NORD LB  
BLZ 250 500 00, Kto 150 334 779  
IBAN DE91 250 500 00 0150 334 779  
BIC/SWIFT NOLA DE 2HXXX

Projekt: Wasseruntersuchung

			<b>Probenbezeichnung</b>	<b>Tunnel Füssen, Nordportal, TF- N-1</b>
			<b>Probenahmedatum</b>	<b>24.09.2015</b>
			<b>Labornummer</b>	<b>615082206</b>
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>BG</b>	<b>Methode</b>	

**Bestimmung von Faktoren, Rohdaten, etc.**

Anionensumme	mmol(eq)/l		berechnet (JE-JE02)	4,58
Kationensumme	mmol(eq)/l		berechnet (JE-JE02)	4,54
Ionenbilanzfehler	mmol(eq)/l		berechnet (JE-JE02)	-0,034
Ionenbilanzfehler relativ	%		berechnet (JE-JE02)	0,74

**Bestimmung aus der Originalprobe**

pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5 / DIN EN ISO 10523 (FR-JE02)	8,0
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	5	DIN EN 27888 (FR-JE02)	406
abfiltrierbare Stoffe (Membranfilter)	mg/l	5	DIN 38409-H2-2 (JE-JE02)	< 5,0
Basekapazität pH 8,2	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7 (FR-JE02)	0,2
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7 (FR-JE02)	4,2
Säurekapazität pH 8,2	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7 (FR-JE02)	n.b.
Carbonathärte	mmol/l	0,05	DEV D8 (JE-JE02)	2,1
freie Kohlensäure (gel. CO <sub>2</sub> ), ber.	mg/l	5	DEV D8 (JE-JE02)	10
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DEV D8 (FR-JE02)	260
Chlorid	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1 (FR-JE02)	< 1
Nitrat	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1 (FR-JE02)	4,4
Sulfat	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1 (FR-JE02)	13
Phosphat (PO <sub>4</sub> ) ges. phot.	mg/l	0,05	DIN EN ISO 6878 (FR-JE02)	< 0,050
Cyanid, gesamt	mg/l	0,005	DIN EN ISO 14403 (FR-JE02)	< 0,005
Sulfid, gelöst	mg/l	0,05	analog DIN 38405-D26 (FR-JE02)	< 0,05
Schwefelwasserstoff	mg/l	0,05	analog DIN 38405-D26 (FR-JE02)	< 0,05
Gesamthärte	mmol/l	0,002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	2,2
Ammonium	mg/l	0,06	DIN EN ISO 11732 (FR-JE02)	< 0,06
Aluminium	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,01
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Cadmium	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,0002
Calcium	mg/l	0,02	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	53
Chrom	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Eisen	mg/l	0,005	analog DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	0,024
Kalium	mg/l	0,05	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	1,0
Cobalt	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,0002
Kupfer	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Magnesium	mg/l	0,02	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	22
Mangan	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Molybdän	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Natrium	mg/l	0,05	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	1,2
Nickel	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Quecksilber	mg/l	0,0001	DIN EN 1483 (FR-JE02)	< 0,0001
Vanadium	mg/l	0,002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,002
Zink	mg/l	0,002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	0,012

**Prüfbericht zu Auftrag 61522882**

Nr. 6014687002N1 Seite 3 von 3

Projekt: Wasseruntersuchung

			<b>Probenbezeichnung</b>	<b>Tunnel Füssen, Nordportal, TF- N-1</b>
			<b>Probenahmedatum</b>	<b>24.09.2015</b>
			<b>Labornummer</b>	<b>615082206</b>
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>BG</b>	<b>Methode</b>	

**Bestimmung aus der filtrierten Probe**

Eisen, gelöst	mg/l	0,005	analog DIN EN ISO 17294-2 (AN-LG004 /u)	0,028
---------------	------	-------	---	-------

## Anmerkung:

Erklärung zu Messstandorten und Akkreditierungen

Die mit JE gekennzeichneten Parameter wurden von Eurofins Umwelt Ost GmbH (Jena) analysiert. Die mit JE02 gekennzeichneten Parameter sind nach

DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00 akkreditiert.

Die mit FR gekennzeichneten Parameter wurden von EUROFINS Umwelt Ost GmbH (Bobritzsch-Hilbersdorf) analysiert. Die mit JE02 gekennzeichneten Parameter sind nach

DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00 akkreditiert.

Die mit AN gekennzeichneten Parameter wurden von Eurofins Umwelt West GmbH (Wesseling)

analysiert. Die mit LG004 gekennzeichneten Parameter sind nach

DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14078-01-00 akkreditiert.

u: Die Analyse des Parameters erfolgte in Untervergabe.

**Prüfbericht zu Auftrag 61600626**

Nr. 6014687004N1 Seite 1 von 3

EUROFINS Umwelt Ost GmbH · Lößstedter Straße 78 · D-07749 Jena

**Universität Stuttgart  
IGS Institut für Geotechnik  
Pfaffenwaldring 35****70569 Stuttgart**

**Titel: Prüfbericht zu Auftrag 61600626**  
**Prüfberichtsnummer: Nr. 6014687004N1**

**Projektnummer: Nr. 6014687**  
**Projektbezeichnung: Wasseruntersuchung**  
**Probenumfang: 1 Probe**  
**Probenart: Grundwasser**  
**Probenahmezeitraum: 13.01.2016**  
**Probenehmer: Auftraggeber**  
**Probeneingang: 14.01.2016**  
**Prüfzeitraum: 14.01.2016 - 27.01.2016**

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB), sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie jederzeit unter <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx> einsehen.

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die in der Urkundenanlage aufgeführten Prüfverfahren.

Jena, den 03.03.2016

Dr. A. Herschel  
Prüfleiter  
03641 / 46 49 - 81



EUROFINS Umwelt Ost GmbH  
Lößstedter Straße 78  
D-07749 Jena

Tel. +49 (0) 3641 4649-0  
Fax +49 (0) 3641 4649-19  
[www.eurofins-umwelt-ost.de](http://www.eurofins-umwelt-ost.de)  
[info\\_jena@eurofins.de](mailto:info_jena@eurofins.de)

Amtsgericht Jena  
HRB 202596  
USt.-ID.Nr. DE 151 28 1997

Geschäftsführer: Dr. Ulrich Erler,  
Dr. Benno Schneider,  
Axel Ulbricht

Bankverbindung: NORD LB  
BLZ 250 500 00, Kto 150 334 779  
IBAN DE91 250 500 00 0150 334 779  
BIC/SWIFT NOLA DE 2HXXX

Projekt: Wasseruntersuchung

Parameter	Einheit	BG	Probenbezeichnung	Tunnel Füssen - Nordportal, TF-N-2
			Probenahmedatum	13.01.2016
			Labornummer	616002254
			Methode	

**Bestimmung von Faktoren, Rohdaten, etc.**

Parameter	Einheit	BG	Methode	Wert
Anionensumme	mmol(eq)/l		berechnet (JE-JE02)	5,07
Kationensumme	mmol(eq)/l		berechnet (FR-JE02)	5,16
Ionenbilanzfehler	mmol(eq)/l		berechnet (JE-JE02)	0,089
Ionenbilanzfehler relativ	%		berechnet (JE-JE02)	1,68

**Bestimmung aus der Originalprobe**

Parameter	Einheit	BG	Methode	Wert
pH-Wert	ohne		DIN 38404-C5 / DIN EN ISO 10523 (FR-JE02)	8,0
el. Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	5	DIN EN 27888 (FR-JE02)	391
abfiltrierbare Stoffe (Membranfilter)	mg/l	5	DIN 38409-H2-2 (FR-JE02)	< 5
Basekapazität pH 8,2	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7 (FR-JE02)	0,2
Säurekapazität pH 4,3	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7 (FR-JE02)	4,9
Säurekapazität pH 8,2	mmol/l	0,1	DIN 38409-H7 (FR-JE02)	n.b.
Carbonathärte	mmol/l	0,05	DEV D8 (JE-JE02)	2,5
freie Kohlensäure (gel. CO <sub>2</sub> ), ber.	mg/l	5	DEV D8 (JE-JE02)	8
Hydrogencarbonat	mg/l	6	DEV D8 (FR-JE02)	300
Chlorid	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1 (FR-JE02)	1,7
Nitrat	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1 (FR-JE02)	5,4
Sulfat	mg/l	1	DIN EN ISO 10304-1 (FR-JE02)	12
Phosphat (PO <sub>4</sub> ) ges. phot.	mg/l	0,05	DIN EN ISO 6878 (FR-JE02)	< 0,050
Cyanid, gesamt	mg/l	0,005	DIN EN ISO 14403 (FR-JE02)	< 0,005
Sulfid, gelöst	mg/l	0,05	analog DIN 38405-D26 (FR-JE02)	< 0,05
Schwefelwasserstoff	mg/l	0,05	berechnet (FR-JE02)	< 0,05
Ammonium	mg/l	0,06	DIN EN ISO 11732 (FR-JE02)	< 0,06
Gesamthärte	mmol/l	0,002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	2,6
Aluminium	mg/l	0,01	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,01
Arsen	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Blei	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Cadmium	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,0002
Calcium	mg/l	0,02	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	60
Chrom	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Eisen	mg/l	0,005	analog DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	0,006
Kalium	mg/l	0,05	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	1,8
Cobalt	mg/l	0,0002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,0002
Kupfer	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Magnesium	mg/l	0,02	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	26
Mangan	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Molybdän	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	0,003
Natrium	mg/l	0,05	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	2,5
Nickel	mg/l	0,001	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,001
Quecksilber	mg/l	0,0001	DIN EN 1483 (FR-JE02)	< 0,0001
Vanadium	mg/l	0,002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,002
Zink	mg/l	0,002	DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,002

**Prüfbericht zu Auftrag 61600626**

Nr. 6014687004N1 Seite 3 von 3

Projekt: Wasseruntersuchung

			<b>Probenbezeichnung</b>	<b>Tunnel Füssen - Nordportal, TF-N-2</b>
			<b>Probenahmedatum</b>	<b>13.01.2016</b>
			<b>Labornummer</b>	<b>616002254</b>
<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>	<b>BG</b>	<b>Methode</b>	

**Bestimmung aus der filtrierten Probe**

Eisen, gelöst	mg/l	0,005	analog DIN EN ISO 17294-2 (FR-JE02)	< 0,005
---------------	------	-------	-------------------------------------	---------

## Anmerkung:

Erklärung zu Messstandorten und Akkreditierungen

Die mit JE gekennzeichneten Parameter wurden von Eurofins Umwelt Ost GmbH (Jena) analysiert. Die mit JE02 gekennzeichneten Parameter sind nach

DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00 akkreditiert.

Die mit FR gekennzeichneten Parameter wurden von EUROFINS Umwelt Ost GmbH (Bobritzsch-Hilbersdorf) analysiert. Die mit JE02 gekennzeichneten Parameter sind nach

DIN EN ISO/IEC 17025:2005 D-PL-14081-01-00 akkreditiert.

### 3 Ergebnisauswertungen

Beurteilungsmerkmal	Konzentrationsbereich (mg/l)	Tunnel Füssen Südportal, TF-N-1	Bewertung		Bewertungskriterium	
			Kupfer	Edelstahl > 13 °C	Kupfer	Edelstahl > 13 °C
Probenahmedatum		24.09.2015				
absetzbare Stoffe (organische)	mg/l	< 5,0			0	0
Ammoniak NH <sub>3</sub>	< 2 2 bis 20 > 20	Nicht analysiert			+ 0 -	+ + 0
Chlorid	< 300 > 300	< 1	+	+	+ 0	+ 0
elektr. Leitfähigkeit	< 10 µS/cm 10 bis 500 µS/cm > 500 µS/cm	406	+	+	0 + -	0 + 0
Eisen (Fe) gelöst	< 0,2 > 0,2	0,005	+	+	+ 0	+ 0
freie (aggressive) Kohlensäure	<5 5 bis 20 > 20	10	0	+	+ 0 -	+ + 0
MANGAN (Mn) gelöst	< 0,1 > 0,1	< 0,001	+	+	+ 0	+ 0
NITRATE (NO <sub>3</sub> ) gelöst	< 100 > 100	4,4	+	+	+ 0	+ +
PH-Wert	< 7,5 7,5 bis 9 > 9	8	+	+	0 + 0	0 + +
Sauerstoff	< 2 > 2	Nicht analysiert			+ 0	+ +
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	< 0,05 > 0,05	< 0,05	+	+	+ -	+ 0
HCO <sub>3</sub> - / SO <sub>4</sub> 2-	< 1 > 1	Nicht analysiert			0 +	0 +
Hydrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> -)	< 70 70 bis 300 > 300	260	+	+	0 + 0	+ + 0
Aluminium (Al) gelöst	< 0,2 > 0,2	< 0,01	+	+	+ 0	+ +
SULFATE	bis 70 70 bis 300 >300	13	+	+	+ 0 -	+ + 0
SULPHIT (SO <sub>3</sub> ), freies	< 1	< 0,05	+	+	+	+
Chlorgas (Cl <sub>2</sub> )	< 1 1 bis 5 > 5	Nicht analysiert			+ 0 -	+ + 0

Beständigkeit von kupfergelöteten oder geschweißten Edelstahl-Plattenwärmetauschern gegenüber Wasserinhaltsstoffen

„+“ normalerweise gute Beständigkeit

„0“ Korrosionsprobleme können entstehen, insbesondere, wenn mehrere Faktoren mit 0 bewertet sind

„-“ von der Verwendung ist abzusehen

[< kleiner als, > größer als]

Beurteilungsmerkmal	Konzentrationsbereich (mg/l)	Tunnel Füssen Südportal, TF-N-2	Bewertung		Bewertungskriterium	
			Kupfer	Edelstahl > 13 °C	Kupfer	Edelstahl > 13 °C
Probenahmedatum		13.01.2015				
absetzbare Stoffe (organische)	mg/l	< 5,0			0	0
Ammoniak NH <sub>3</sub>	< 2 2 bis 20 > 20	Nicht analysiert			+ 0 -	+ + 0
Chlorid	< 300 > 300	1,7	+	+	+ 0	+ 0
elektr. Leitfähigkeit	< 10 µS/cm 10 bis 500 µS/cm > 500 µS/cm	391	+	+	0 + -	0 + 0
Eisen (Fe) gelöst	< 0,2 > 0,2	0,005	+	+	+ 0	+ 0
freie (aggressive) Kohlensäure	<5 5 bis 20 > 20	8	0	+	+ 0 -	+ + 0
MANGAN (Mn) gelöst	< 0,1 > 0,1	< 0,001	+	+	+ 0	+ 0
NITRATE (NO <sub>3</sub> ) gelöst	< 100 > 100	5,4	+	+	+ 0	+ +
PH-Wert	< 7,5 7,5 bis 9 > 9	8	+	+	0 + 0	0 + +
Sauerstoff	< 2 > 2	Nicht analysiert			+ 0	+ +
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	< 0,05 > 0,05	< 0,05	+	+	+ -	+ 0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	< 1 > 1	Nicht analysiert			0 +	0 +
Hydrogenkarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	< 70 70 bis 300 > 300	300	+	+	0 + 0	+ + 0
Aluminium (Al) gelöst	< 0,2 > 0,2	< 0,01	+	+	+ 0	+ +
SULFATE	bis 70 70 bis 300 >300	12	+	+	+ 0 -	+ + 0
SULPHIT (SO <sub>3</sub> ), freies	< 1	< 0,05	+	+	+	+
Chlorgas (Cl <sub>2</sub> )	< 1 1 bis 5 > 5	Nicht analysiert			+ 0 -	+ + 0

Beständigkeit von kupfergelöteten oder geschweißten Edelstahl-Plattenwärmetauschern gegenüber Wasserinhaltsstoffen

„+“ normalerweise gute Beständigkeit

„0“ Korrosionsprobleme können entstehen, insbesondere, wenn mehrere Faktoren mit 0 bewertet sind

„-“ von der Verwendung ist abzusehen

[< kleiner als, > größer als]

## 4 Zusammenfassende Bewertung

Am Nordportal des Tunnels Füssen wurden während zwei Ortsbegehungen Wasserproben des Tunneldrainagewassers genommen und labor-technisch untersucht.

1. Probennahme am 24.09.2015
2. Probennahme am 13.01.2015

Hierbei zeigt lediglich der Parameter der freien Kohlensäure, dass bei der Anordnung einer Wärmepumpe aus Gründen der Korrosionsgefahr ein Edelstahlwärmeübertrager zum Einsatz kommen sollte. Wässer mit einem hohen Gehalt an freier Kohlensäure zeigen eine erhöhte Aggressivität gegenüber metallischen Werkstoffen und können erhöhte Korrosionsraten hervorrufen. Dies kann zu Undichtigkeiten im Rohrleitungsnetz, Rohrleitungsbrüchen und Ablagerungen im Verteilungsnetz führen.

Die berechneten Ionenbilanzfehler am Tunnel Füssen belaufen sich auf 0,74% bzw. 1,68% < 5% und können somit als tolerabel eingestuft werden.

Im Zuge der Ortbegehung wurde beim Zusammenfluss des Drainagewassers aus der Ost- sowie der Westulmendrainage eine gewisse Menge Geschiebe im Bereich des Kontrollschachtes festgestellt (siehe Anlage IV – Drainagewasserfassung Füssen, Abbildung 14). Für einen störungsfreien Betrieb einer eventuell zu errichtenden Geothermieanlage sollte die Herkunft des Geschiebes geklärt und bei Bedarf ein entsprechender Filter mit Sandfang eingerichtet werden.

Während der Ortbegehung am 13.05.2016 wurden in einem Übergabeschacht nahe dem Portal des Fluchtstollens Versinterungen festgestellt die auf der Basis der untersuchten Laborproben so nicht zu erwarten gewesen waren. Nach Rücksprache mit dem Tunnelbetreiber und weiteren Nachforschungen (siehe [1]) stellte sich heraus, dass am Tunnel Füssen in den Ulmendrainagen Maßnahmen chemischer Art getroffen werden (Härtestabilisation), um die Versinterungen der Tunneldrainage zu reduzieren. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen zeigen den Wasserchemismus nach der erfolgten Behandlung. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird davon ausgegangen, dass auch für den Betrieb einer geothermischen Anlage am Tunnelportal Füssen eine Behandlung des Tunneldrainagewassers fortgesetzt wird und entsprechende Härtestabilisatoren unverändert zum Einsatz kommen. Diese Annahme ist vor der Inbe-

triebnahme einer Anlage am Nordportal des Tunnels Füssen zu bestätigen

## 5 Literatur

- [1] Blosfeld, J. and Rönna, I. August 2014. *Wärmeenergie aus dränierten Bergwässern von Strassentunneln*. Bundesanstalt für Strassenwesen. (unveröffentlicht)