



Energinet.dk

Prognose for sammensætning af oppumpet saltbrine fra LI. Torup Gaslager

Prognose for sammensætning af oppumpet saltbrine fra
LI. Torup Gaslager

August 2009

Energinet.dk

Prognose for sammensætning af oppumpet saltbrine fra LI. Torup Gaslager

Prognose for sammensætning af oppumpet saltbrine fra
LI. Torup Gaslager

August 2009

Ref 877204
670-090040
Version 01
Dato 2009-08-04
Udarbejdet af HWR
Kontrolleret af HNDR/DMM
Godkendt af CFJ

Rambøll Danmark A/S
Teknikerbyen 31
DK-2830 Virum

Telefon +45 4598 6000
www.ramboll.dk

Indholdsfortegnelse

Ordliste 1

Indledning	2
1. Baggrund	3
2. Prøveudtagning og analyser	4
2.1 Bundbrine	4
2.1.1 Prøveudtagning af bundbrine	4
2.1.2 Analyser af bundbrine	5
2.2 Saltborekerner	7
2.2.1 TI analyser af prøver fra saltborekerner	7
2.2.2 ALS analyser af prøver fra saltborekerner	8
3. Vurdering af sammensætningen af oppumpet saltbrine	9
3.1 Genudskylning af eksisterende kaverne	9
3.1.1 Volumen og fortyndingsforhold af bundbrine og udskyllet salt	9
3.2 Udskylning af ny kaverne	13
3.2.1 Vurdering af "worst case" stofudledning fra udskylning af en ny kaverne	13
4. Prognose for kemisk sammensætning af oppumpet saltbrine	14
4.1 Forudsætninger for prognosen	14
4.1.1 Teoretisk vurdering af den oppumpede andel af tungmetaller fra salthorsten	14
4.1.2 Ældre tungmetalanalyser fra udskylning af kaverne på Ll. Torup Gaslager	14
4.1.3 Tungmetalanalyser fra udskylning af andre tilsvarende kaverne	15
4.2 Prognose for oppumpet saltbrine fra eksisterende kaverne.	15
4.3 Prognose for oppumpet saltbrine fra udskylning af ny kaverne.	17
5. Referencer	19
6. Bilag	20
6.1 ALS analyser af saltborekerner fra TO-5 til TO-10	20
6.2 TI analyser af saltborekerner fra TO-5 til TO-10	21
6.3 Analyser af oppumpet saltbrine fra udskylning af tyske kaverne	22
6.4 Gamle analyser fra udskylning af eksisterende kaverne på Ll. Torup	23
6.5 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-5	24
6.6 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-6	25
6.7 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-7	26
6.8 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-8	27
6.9 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-9	28
6.10 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-10	29

Ordliste

Bundbrine	Det mættede saltvand, som findes på bunden af de eksisterende kaverner. Benævnes også saltsø.
Salthorst	Geologisk formation bestående af salt
Saltborekerner	Prøver af salthorsten
Oppumpet saltbrine	Det mættede saltvand, som pumpes op fra kavernen
Kaverner	Hulrum i en salthorst, som bruges til lagring af eksempelvis gas

Indledning

I nærværende rapport opstilles en prognose for den kemiske sammensætning af den oppumpede saltbrine fra kaverne på LI. Torup Gaslager til Lovns Bredning - i forbindelse med den planlagte udvidelse af de eksisterende kaverne samt etablering af nye kaverne.

Den opstillede prognose indgår som grundlag for den igangværende miljøansøgning om udledning af oppumpet saltbrine til Lovns Bredning.

1. Baggrund

Energinet.dk, som ejer Ll. Torup Gaslager, planlægger at udvide gaslagrets lagervolumen ved genudskylning af de eksisterende 7 kaverner, samt udskylning af nye kaverner, og har som led i miljøansøgningen hertil behov for at opstille en prognose for den kemiske sammensætning af den oppumpede saltbrine fra kavernerne ved udskylningerne.

Der er i den forbindelse ikke fundet repræsentative analyser af det oppumpede saltbrine fra etableringen af de eksisterende kaverner i Ll. Torup Gaslager, som umiddelbart kan bruges som prognose.

Den oppumpede saltbrine fra udvidelse af kavernerne består i praksis af en blanding af følgende:

- Skyllevand fra Hjarbæk fjord.
- Eksisterende bundbrine, (saltsøen i bunden af de eksisterende kaverner).
- Opløst salt fra salthorsten.

Rambøll har tidligere i rapporten "Udledning af saltbrine i Lovns Bredning, September 2008", /5/, vurderet miljøbelastningen fra udledningen af oppumpet saltbrine til Lovns Bredning på basis af analyseresultater af prøver af bundbrinen i de eksisterende kaverner (i 2007) samt af prøver af arkiverede borekerner af salthorsten fra de eksisterende Kaverner (i 2008).

Den nævnte rapport benytter en "Worst case" vurdering af sammensætningen af den oppumpede saltbrine, idet hele stofindholdet i de analyserede prøver af salthorsten er forudsat oppumpet, således at bl.a. de sedimenterede tungmetaller medtages i sammensætningen af den oppumpede saltbrine.

Derudover er en del analyser angiver under en detektionsgrænse, hvilket gør det vanskeligt at vurdere en sandsynlig oppumpet stofmængde.

I nærværende rapport opstilles en ny revideret prognose af sammensætningen af den oppumpede saltbrine, dels fra genudskylninger og dels fra udskylninger af nye kaverner. Denne prognose er udarbejdet på basis af:

- de foreliggende analyser af bundbrine fra de eksisterende kaverner (2007)
- de foreliggende analyser af salte i de arkiverede borekerner (2008)
- nye tungmetalanalyser af de arkiverede borekerner fra salthorsten – med lavere detektionsgrænser (2009)
- analyser af oppumpet saltbrine fra tilsvarende tyske kaverneudskylninger
- gamle analyser af udledt brine fra de eksisterende kaverner på Ll. Torup – som er angivet uden dokumentation for udtagessted og procesbetingelser.
- det forudsættes, at stofkoncentrationerne i skyllevandet fra Hjarbæk Fjord er marginalt i forhold til den koncentrerede opløsning fra opløst salthorst, og skyllevandets stofindhold medtages derfor ikke i den opstillede prognose.

2. Prøveudtagning og analyser

I kapitel 2 beskrives prøveudtagning og analyser af:

- bundbrine fra de eksisterende kaverner
- arkiverede borekerner fra salthorsten fra de eksisterende kaverner

2.1 Bundbrine

Efterfølgende opstilles en oversigt over prøveudtagning og analyseresultater af bundbrine fra de 6 undersøgte kaverner jf. ref. /1/ og /6/.

2.1.1 Prøveudtagning af bundbrine

I tabel 3.1 er prøveudtagningsforholdene beskrevet.

Kaverne nr.	Prøveudtagning dato	Dybde grænse-lag/bund m	Prøve nr.	Dybde prøveudtagning m	Analyse-laboratorie		Bemærkninger til prøven
					Brine	Oppanol	
TO-5	23/11-2007	1.532,3/ 1.548,9	1	1.534,2	Wess	-	ca. 180 cm, mørk prøve
			2	1.534,0	TI	-	ca. 150 cm, lys prøve
TO-6	25/11-2007	1.539,0/ 1.552	1	1.540,7	Wess	-	ca. 195 cm
			2	1.539,8	TI	-	ca. 130 cm
TO-7	21/11-2007	1.672,4/ 1.688,7	1	1.673,8	TI	TI	ca. 165 cm + 2 cm Opp.
			2	1.673,8	Wess	TI	ca. 155 cm + 2 cm Opp.
TO-8	20/11-2007	1.346,0/ 1.348,6	1	1.346,6	Wess	-	ca. 100 cm, filtreret prøve
			2	1.347,1	TI	-	ca. 50 cm
TO-9	24/11-2007	1.309,8/ 1.310,4	1	1.311,7	Wess	-	ca. 195 cm
			2	1.310,8	TI	-	ca. 135 cm
TO-10	26/11-2007	1.257,0/ 1.262,0	1*	1.258,8	Wess	ikke anal.	*Delt brineprøve, ca. 0,9 l
			1*	1.258,8	TI	ikke anal.	*Delt brineprøve, ca. 0,9 l

Tabel 3.1 Forholdene ved udtagning af prøver fra bundbrine i november 2007, /1/.

Det skal bemærkes, at der ved prøveudtagningerne i TO-7 og TO-10 observeredes et meget stabilt Oppanol-lag, med en tydelig lagdeling. Af tabellen ses, at der kun er foretaget analyse af Oppanol-laget i TO-7 og ikke i TO-10, og at både sample 1 og 2 er analyseret af TI.

Samtidig skal bemærkes, at sample 1 fra TO-8 er filtreret i papirfilter, og at filtret er analyseret af Wessling.

Det skal endvidere bemærkes, at prøve 1 (til Wessling) fra TO-5 var mørkere end prøve 2 (til TI).

2.1.2 Analyser af bundbrine

De i 2007 udtagne prøver af bundbrine er sendt til analyse hos Wessling og TI, som beskrevet i tabel 3. 1.

Analyseresultaterne fra alle de i 2007 foretagne analyser er sammenstillet i rapport udarbejdet af Energinet.dk, ref. /1/.

I juni 2008 har TI foretaget supplerende analyser af As, samt tungmetalanalyser på den opløselige andel af de resterende prøverester af bundbrine - efter 10 gange fortynding med demineraliseret vand og filtrering igennem et 0,45 µm filter.

Analyseresultaterne herfra er samlet i TI analyserapport, ref. /2/.

I tabel 3.2 er gengivet alle analyseresultater for selve bundbrinen, og i efterfølgende tabel 3.3. er gengivet analyseresultaterne for Oppanol-laget i TO-7.

Til bundbrine-analyserne skal bemærkes følgende:

- Pb koncentrationerne i analyserne fra Wessling er generelt væsentlig højere end TI analyserne fra samme kaverne. De angivne Pb analyser fra TI er resultater fra en gentagelse af Pb analyserne på samme prøver - i marts 2008.

I den efterfølgende opstilling af prognose for sammensætning af den oppumpede brine er konservativt medtaget de højeste analyseværdier fra TI hhv. Wessling.

- Koncentrationen af tri-ethylen-glycol er i TO-6 målt til væsentligt højere værdier end i de øvrige kaverne.
- I TO-8 har TI fundet 1,8 mg/l kulbrinter, som ifølge TI ligner det smøremiddel "Sonox", som blev benyttet under den første prøveudtagning ved TO-8.

Til Oppanol-analyserne skal bemærkes følgende:

- TI har foretaget en screening af prøve 1 og 2, og det overvejende indhold er i begge prøver identificeret som Oppanol. Til sammenligning er der ikke fundet Oppanol over 0,1 mg/l i prøverne af bundbrinen, hvilket svarer meget godt til den tydelige visuelle lagdeling mellem bundbrine og Oppanol i prøverne fra TO-7 og TO-10.

Oppanolen vurderes således at blive på toppen af bundbrinen under genudskylningen.

- Der er i begge Oppanolprøver fundet et atypisk højt Hg-indhold. Til sammenligning er ikke fundet Hg over detektionsgrænsen i brineprøven. Årsagen hertil kan skyldes en absorption af gassens indhold af Hg i oppanollaget - eller udfældning af Hg som sulfid, oven på Oppanollaget.

Kaverne	Kaverne TO 5			Kaverne TO 6			Kaverne TO 7			Kaverne TO 8			Kaverne TO 9			Kaverne TO 10			
	Analyser af bundbrine		Ti-Århus mg/l	Analyser af bundbrine		Ti-Århus mg/l	Analyser af bundbrine		Ti-Århus mg/l	Analyser af bundbrine		Ti-Århus mg/l	Analyser af bundbrine		Ti-Århus mg/l	Analyser af bundbrine		Ti-Århus mg/l	
	Wessling	if. ref. /1/		Wessling	if. ref. /1/		Wessling	if. ref. /1/		Wessling	if. ref. /1/		Wessling	if. ref. /1/		Wessling	if. ref. /1/		Wessling
Parameter	Wessling	Ti-Århus	opl. mg/l	Wessling	Ti-Århus	opl. mg/l	Wessling	Ti-Århus	opl. mg/l	Wessling	Ti-Århus	opl. mg/l	Wessling	Ti-Århus	opl. mg/l	Wessling	Ti-Århus	opl. mg/l	
P	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	
NH4	27	32	39	27	39	39	44	58	23	16	23	110,292	93,000	113,082	93,000	113,364	95,000	115,045	
NO2	< 0,01	i.a.	i.a.	< 0,01	i.a.	i.a.	< 0,01	i.a.	i.a.	0,02	i.a.	410	1,800	1,552	1,300	1,652	1,300	1,175	
NO3	< 100	< 1	< 1	< 100	< 1	< 1	< 100	< 1	< 1	< 100	< 1	5,400	5,400	2,860	450	314	300	222	
SO4	3.370	4.230	5.223	3.970	5.223	5.223	2.950	3.609	19.392	13.600	19.392	173.000	184.000	3.609	3.980	3.859	3.000	5.328	
Cl	180.000	i.a.	i.a.	180.000	i.a.	i.a.	184.000	i.a.	i.a.	173.000	i.a.	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
Na	94.000	111.625	111.578	92.000	111.578	111.578	93.000	113.082	110.292	93.000	110.292	110.292	93.000	113.082	95.000	113.364	95.000	115.045	
Ca	1.600	1.340	1.151	1.300	1.151	1.151	1.800	1.552	410	410	410	410	1.800	1.652	1.900	1.652	1.300	1.175	
K	200	155,1	510,0	800	510,0	510,0	570	392	2.860	5.400	2.860	3.400	5.400	314	450	314	300	222	
Mg	84	95	182	160	182	182	200	233	3.757	3.400	3.757	3.400	3.400	192	160	192	370	417	
Mn	i.a.	1,54	4,2	i.a.	4,2	4,2	i.a.	1,17	5,0	i.a.	5,0	5,0	i.a.	1,63	i.a.	1,63	i.a.	4,7	
Sr	21	22,6	26,2	26	26,2	26,2	35	35,2	5,93	5,9	5,93	5,9	5,9	0,19	0,16	0,19	12,0	12,6	
Ba	0,25	0,105	0,05	0,18	0,05	0,05	0,11	< 0,036	< 0,036	0,11	< 0,036	0,16	0,16	0,05	0,16	0,05	0,11	< 0,036	
V	< 0,05	< 0,6	< 0,6	< 0,05	< 0,6	< 0,6	< 0,05	< 0,6	< 0,6	< 0,05	< 0,6	< 0,05	< 0,05	< 0,6	< 0,05	< 0,6	< 0,05	< 0,6	
Fe	12	10,6	8,5	9,3	8,5	8,5	34,0	32,4	17,6	28,0	17,6	28,0	28,0	14,6	15,0	14,6	32,0	21,1	
As	i.a.	0,020	0,012	i.a.	0,012	0,0097	i.a.	0,0084	0,019	i.a.	0,015	0,022	i.a.	0,025	i.a.	0,025	i.a.	0,0059	
Pb	3,1	0,183	0,120	0,38	0,120	0,081	2,90	0,580	0,220	0,340	0,244	0,220	0,340	0,086	0,160	0,086	0,520	0,228	
Ni	0,07	< 0,01	< 0,01	0,09	< 0,01	0,032	0,18	< 0,01	0,060	0,330	0,073	0,088	0,080	< 0,01	0,080	< 0,01	0,046	0,070	
Zn	1,2	0,33	0,260	0,48	0,29	0,210	1,30	0,60	0,220	1,10	0,48	0,099	0,37	0,29	0,37	0,29	0,072	1,47	
Cu	i.a.	0,056	0,0403	i.a.	0,076	0,052	i.a.	0,075	0,051	i.a.	0,113	0,092	i.a.	0,070	i.a.	0,070	0,052	0,47	
Cr	i.a.	< 0,003	0,0011	i.a.	< 0,003	< 0,0006	i.a.	0,0059	< 0,0006	i.a.	0,048	< 0,0006	i.a.	< 0,003	i.a.	< 0,003	< 0,0006	0,216	
Cd	< 0,005	< 0,009	0,0009	< 0,005	< 0,009	< 0,0005	< 0,005	< 0,009	0,00095	< 0,005	< 0,010	0,00118	< 0,005	< 0,010	< 0,005	< 0,010	< 0,0005	< 0,00064	
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,002	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,0002	< 0,002	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,001	
Ethylenglycol	0,35	i.a.	i.a.	0,59	i.a.	i.a.	0,57	i.a.	i.a.	1,90	i.a.	i.a.	1,90	i.a.	2	i.a.	i.a.	< 0,5	
Diethylenglycol	2,8	i.a.	i.a.	4,3	i.a.	i.a.	3,0	i.a.	i.a.	7,1	i.a.	i.a.	7,1	i.a.	10	i.a.	i.a.	8,1	
Triethylenglycol	8,4	i.a.	i.a.	56	i.a.	i.a.	6,4	i.a.	i.a.	5,7	i.a.	i.a.	5,7	i.a.	30	i.a.	i.a.	7,5	
Propylenglycol	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	
Glycoler	< 0,1	i.a.	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	
Smørelolie	< 0,1	i.a.	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	
Oppanol	< 0,1	i.a.	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	
CxHy	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	0,2	i.a.	i.a.	0,3	i.a.	1,8	0,2	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	0,6	
CH-indeks	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	0,1	i.a.	0,2	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	0,1	
CH-indeks C10-22	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	0,2	i.a.	0,2	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	0,6	
CH-indeks C22-40	< 0,1	i.a.	i.a.	< 0,1	i.a.	i.a.	0,2	i.a.	i.a.	0,2	i.a.	0,2	< 0,1	i.a.	< 0,1	i.a.	< 0,1	0,6	

Tabel 3.2 Analyser af bundbrine, /1/ og /2/.

Kaverne	Kaverne TO 7 - Prøve 1 Analyser af Oppanol-lag jf. ref. /1/		Kaverne TO 7 - Prøve 2 Analyser af Oppanol-lag jf. ref. /1/	
	Wessling mg/kg	TI- Århus mg/kg	Wessling mg/kg	TI- Århus mg/kg
Na	i.a.	22.600	i.a.	69.000
Ca	i.a.	220	i.a.	900
K	i.a.	167	i.a.	230
Mg	i.a.	31,5	i.a.	138
Mn	i.a.	2,06	i.a.	4,7
Sr	i.a.	4,5	i.a.	22
Ba	i.a.	0,48	i.a.	1,1
V	i.a.	< 0,3	i.a.	< 0,3
Fe	i.a.	280	i.a.	220
Pb	i.a.	7,6	i.a.	2,9
Ni	i.a.	0,94	i.a.	0,54
Zn	i.a.	17	i.a.	5,3
Cu	i.a.	12	i.a.	3,2
Cr	i.a.	1,7	i.a.	0,65
Cd	i.a.	0,052	i.a.	0,152
Hg	i.a.	260	i.a.	160

Tabel 3.3 Analyser af Oppanol-lag i TO-7

2.2 Saltborekerner

Efterfølgende opstilles en oversigt over prøveudtagning og analyseresultater af saltborekerner fra de 6 undersøgte kaverne:

- TI analyser af borekerner, juni 2008, /2/.
- TI analyser af fosfor i borekernerne, december 2008, /4/
- ALS analyser af borekernerne, marts 2009, /3/.

2.2.1 TI analyser af prøver fra saltborekerner

2.2.1.1 Prøveudtagning

I juni 2008 blev udsnit af arkiverede borekerner fra kaverne TO-5, TO-6, TO-7, TO-8, TO-9 og TO-10 sendt til TI til analyse for kemisk sammensætning.

Borekernerne er udtaget før etablering af kaverne, og de leverede udsnit repræsenterer en stikprøve af salthorsten centralt i hver af de 6 kaverne. Borekerneudsnitten for TO-10 afveg fra de øvrige udsnit ved en svag lyserød farve.

TI har derefter udtaget en stikprøve på 10 g borekerne fra hvert kaverneudsnit til videre analyse.

Det modtagne udsnit fra kaverne TO-10 var svagt rosa-farvet, medens de øvrige var lysegrå/hvide og saltborekernerne var lagdelte og uensartede, og hver stikprøve på 10 g blev udtaget så repræsentativt som muligt ved en visuel bedømmelse.

2.2.1.2 **TI Analyser af saltborekerner**

De udtagne stikprøver fra saltborekerner fra de 6 kaverne er af TI analyseret for de samme salte og tungmetaller som bundbrinerne - samt for det opløselige indhold af tungmetaller efter samme metode som for bundbrinerne.

Tungmetallerne er analyseret ved ICP-MS.

Saltborekernerne er ikke analyseret for glycol og kulbrinter.

Analyseresultater er samlet i TI's analyserapporter ref. /2/ og /4/, og resultaterne er gengivet i Bilag 7.2 til nærværende rapport. Analyserne fra borekernen fra TO-10 afveg tydeligt fra de øvrige borekerner, idet der blev målt meget højere indhold af Mg, Mn, Ba og Zn i borekernen fra TO-10.

På grund af det høje saltindhold samt ICP-MS metodens detektionsgrænse er en del af tungmetallerne bestemt som "<" detektionsgrænsen, og ikke som en absolut værdi. Dette gælder bl.a. for V, Ba, As, Cr, Cd og Hg.

2.2.2 **ALS analyser af prøver fra saltborekerner**

På grund af ICP-MS metodens begrænsninger ved analyse af koncentreret brine blev TI analyserne af tungmetallerne i saltboringerne gentaget i 2009 hos laboratoriet ALS i Sverige på ved ICP-SFMS.

2.2.2.1 **Prøveudtagning**

I marts 2009 blev de samme udsnit af arkiverede borekerner - som var analyseret af TI - sendt til analyse for en række tungmetaller.

ALS har derefter udtaget en stikprøve på 10 g borekerne fra hvert kaverneudsnit til videre analyse.

2.2.2.2 **ALS Analyser af saltborekerner**

De udtagne udsnit af saltborekerner fra de 6 kaverne er af ALS analyseret for en række tungmetaller og andre metaller - samt for det opløselige indhold af tungmetallerne efter samme forbehandlingsprincipper som hos TI.

Tungmetalanalyserne er foretaget på ICP-SFMS.

Analyseresultater er samlet i ALS analyserapport ref. /5/, og resultaterne er endvidere gengivet i Bilag 7.1 til nærværende rapport. Som ved TI-analyserne afveg analyserne fra borekernen fra TO-10 tydeligt fra de øvrige borekerner, idet der blev målt meget højere indhold af Mg, Mn, Ba og Zn i borekernen fra TO-10.

Total indholdet af alle tungmetallerne blev af ALS bestemt som absolutte værdier.

Derudover viste ALS analyserne følgende typiske forskelle i forhold til TI-analyserne:

- Pb indholdet i ALS analyserne er typisk ca. 3 gange højere end i TI analyserne.
- Ni indholdet i Als analyserne er typisk ca. halvdelen af TI-analyserne.
- Ba indholdet i TO-10 i ALS analyserne er ca. 3 gange højere end i TI analyserne.
- Indholdet af opløst Pb i TO-10 er i ALS analyserne højere end total Pb, hvilket er urealistisk.

3. Vurdering af sammensætningen af oppumpet saltbrine

I kapitel 4 vurderes sammensætningen af oppumpet saltbrine ved genudskylning af de eksisterende kaverne og udskylning af nye kaverne – baseret på de i kapitel 3 beskrevne analyser af bundbrine og borekerner fra salthorsten.

3.1 Genudskylning af eksisterende kaverne

Den planlagte kaverneudvidelse af de eksisterende 7 kaverne forudsættes at ske efter følgende princip:

1. Kavernen fyldes med brakvand fra Hjarbæk Fjord ved pumpning til kavernens bund, med udløb under den nuværende bundbrineoverflade.
Denne fyldning påregnes at tage ca. ½ år pr. kaverne.
2. Under opfyldningen opløses salt fra kavernens sider svarende til en mættet saltopløsning og en udvidelse af kavernens gasfyldte volumen på ca. 15 %. En del tungtopløseligt materiale fra den opslemmede salthorst, f.eks. tungmetaller og gips sedimenterer på bunden af kavernen.
3. De udlagte oppanollag i kaverne TO-7 og TO-10 vurderes at forblive intakt på toppen af væsken under den relativ rolige indpumpning og tømning, som foregår via et dykket rør.
4. Den øvrige bundbrine forudsættes derimod total opblandet med det opløste salt fra salthorsten.
5. Kavernen tømmes derefter ved at oppumpe saltbrine ved nedpumpning af gas i toppen af kavernen. Denne tømning påregnes at tage ca. ½ år pr. kaverne.
6. Det forudsættes, at der efter tømning vil efterlades lidt bundbrine, svarende til det nuværende volumen, med et intakt oppanollag i kaverne TO-7 og TO-10, samt at der sedimenteres en del gips og tungmetaller på bunden af kaverne.
7. Den oppumpede saltbrine fortyndes til en salinitet på mellem ca. 28 og 40 PSU ved fortynding med brakvand fra Hjarbæk fjord og udledes derefter til Lovns Bredning via den eksisterende diffusor.
8. Derefter foretages endnu 2 genudskylninger af hver kaverne efter de samme principper, men med stigende volumener pr. kaverne.

3.1.1 Volumen og fortyndingsforhold af bundbrine og udskyllet salt

Det nuværende gasfyldte lagervolumen i de 6 undersøgte kaverne varierer fra ca. 340.000 m³ til ca. 515.000 m³ pr. kaverne, og udtømningsvolumen.

I efterfølgende tabel 4.1 er beregnet de oppumpede volumener bundbrine og opløst salthorst samt saltindholdet i den oppumpede saltbrine fra 1. genudskylning af de 6 undersøgte kaverne baseret på:

- målinger af volumener af bundbrine og gaslager i 2005
- beregninger af den efterfølgende krympning indtil 2008
- en udskylning på ca. 15 % af det nuværende kavernevolumen
- en vægtfylde af salthorst på 2,17 g/l.

Kaverne nr.	Volumen af kaverne før 1. udskylning V_{KF} m^3	Volumen af bundbrine før 1. udskylning V_{BF} m^3	Volumen af opløst salt ved 1. udskylning V_{SALT} (15%) m^3	Volumen af bundbrine efter 1. udskylning V_{BE} m^3	Volumen af udledt brine ved 1. udskylning V_{BU} m^3	Saltindhold i udledt brine ved 1. udskylning C_{SALT} kg/l
TO-5 Heimdalsdal	514.197	11.227	77.130	11.227	591.327	0,3
TO-6 Tyr	439.589	5.519	65.938	5.519	505.527	0,3
TO-7 Idun	455.324	5.123	68.299	5.123	523.623	0,3
TO-8 Frei	433.292	4.333	64.994	4.333	498.286	0,3
TO-9 Freja	338.414	1.274	50.762	1.274	389.176	0,3
TO-10 Brage	350.004	11.868	52.501	11.868	402.505	0,3
Sum	2.530.820	39.344	379.623	39.344	2.910.443	0,3 (middel)

Tabel 4.1 Beregning af volumen og saltindhold for oppumpet saltbrine fra de 6 kaverne

Efterfølgende vurderes stofudledningen med den oppumpede saltbrine fra 1. genudskylning af 6 af de 7 eksisterende kaverne.

Vurderingen er foretaget dels for koncentrationsbidraget fra den nuværende bundbrine (kap. 4.1.1.1) og dels for koncentrationsbidraget fra det udskyllede salt fra salthorsten (4.1.1.2).

3.1.1.1 Stofkoncentrationsbidrag fra udledning af eksisterende bundbrine

På vedhæftede Bilag 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 og 7.10 er for 1. genudskylning beregnet de udledte stofmængder for de analyserede parametre, forårsaget af bundbrinerne i hver af de 6 undersøgte kaverne, dels baseret på Wessling-analyser og dels på TI-analyser.

Baseret på disse stofudledninger og voluminerne beregnet i tabel 4.1 - er bundbrinens bidrag til stofkoncentrationerne i det oppumpede saltbrine, beregnet for hver af de 6 kaverne. Der er konservativt medtaget de største værdier fra TI hhv. Wessling i beregningerne i bilag 7.5 - 7.10.

Efterfølgende tabel 4.2 viser beregningerne for TO-5, som et eksempel.

Oppanollagene i kaverne TO-7 og TO-10 vurderes ikke udledt ved genudskylningsprocessen, og er derfor ikke medtaget i beregningerne.

Ved de 2 efterfølgende genudskylninger forudsættes sammensætningen af den tilbageblevne bundbrine at svare til sammensætningen af den udskyllede salthorst - pga. den store fortynding under 1. genudskylning, og stofkoncentrationsbidraget fra 2. og 3. genudskylning vurderes således at svare til stofkoncentrationsbidraget fra udskylning af en ny kaverne.

Kaverne TO-5	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kaverne ved 1. udskylning.	
	jf. ref. /1/		jf. ref. /2/	Wessling	TI- Århus	TI	Wessling/TI-Århus	TI
Parameter	Wessling tot mg/l	TI- Århus tot mg/l	TI opl. mg/l	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
NH4	27	32		303	359		0,60	
NO2	< 0,01			< 0,1			< 0,0002	
NO3	< 100	< 1		< 1.123	< 11,2		< 0,02	
SO4	3.370	4.230		37.835	47.490		79	
Cl	180.000			2.020.860			3.354	
Na	94.000	111.625		1.055.338	1.253.214		2.080	
Ca	1.600	1.340		17.963	15.044		30	
K	200	155,1		2.245	1.741		3,7	
Mg	84	95		943	1.067		1,8	
Mn		1,54			17		0,03	
Sr	21	22,6		236	254		0,4	
Ba	0,25	0,105		3	1		0,005	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,6	< 6,7		< 0,0009	
Fe	12	10,6		135	119		0,2	
As		0,02	0,012		0,22	0,13	0,0004	0,0002
Pb	3,1	0,183	0,14	35	2	1,6	0,058	0,003
Ni	0,07	< 0,01	0,02	1	< 0,1	0,2	0,0013	< 0,0004
Zn	1,2	0,33	0,26	13	3,7	2,9	0,022	0,005
Cu		0,056	0,0403		0,6	0,5	0,001	0,0008
Cr		< 0,003	0,0011		< 0,034	< 0,01	< 0,00006	< 0,00002
Cd	< 0,005	< 0,009	0,0009	< 0,06	< 0,1	< 0,01	< 0,0002	< 0,00002
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,022	< 0,01	< 0,00004	< 0,00002
Ethylenglycol	0,35			4			0,007	
Diethylenglycol	2,8			31			0,05	
Triethylenglycol	8,4			94			0,2	
Propylenglycol	< 0,1			< 1,1			< 0,002	
Glycoller		< 0,1			< 1		< 0,002	
Smøreolie		< 0,1			< 1		< 0,002	
Oppanol		< 0,1			< 1		< 0,002	
CxHy								
CH-indeks	< 0,1			< 1			< 0,002	
CH-indeks C10-22	< 0,1			< 1			< 0,002	
CH-indeks C22-40	< 0,1			< 1			< 0,002	

Tabel 4.2 Beregning af koncentrationsbidraget fra bundbrinen i TO-5

3.1.1.2 **Stofkoncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst – "Worst case scenarie"**
 På vedhæftede Bilag 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 og 7.10 er for 1. genudskylning beregnet stofkoncentrationsbidraget i den oppumpede saltbrine, forårsaget af det udskyllede salt fra salthorsten - i hver af de 6 undersøgte kaverne - baseret på et *worst case scenarie*, hvor alt udskyllet stof fra salthorsten forudsættes at blive ført op med den oppumpede saltbrine - også den andel af gips og tungmetaller, som ikke kommer med op, men sedimenteres i kaverne.

Efterfølgende tabel 4.3 viser beregningerne for TO-5, som et eksempel.

Ved beregningerne er benyttet metalanalyser fra ALS i 2009 samt analyser af diverse salte fra TI- analyser fra 2008, som angivet på tabel 4.3.

Kaverne TO-5	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst i oppumpet saltbrine fra kaverne ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenarie	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,56	
NH4	2		0,56	
NO2				
NO3	< 30		< 8,3	
SO4	7.500		2.083	
Cl	588.000		163.329	
ALS:				
Na	413.632		114.894	
Ca	4.762		1.323	
K	61		17	
Mg	27		7	
Mn	0,11		0,03	
Sr	22		6,0	
Ba	0,09		0,02	
V	0,02		0,006	
Fe	7,6		2,1	
As	0,009	< 0,009	0,002	< 0,002
Pb	0,316	0,199	0,088	0,055
Ni	0,024	< 0,006	0,007	< 0,002
Zn	0,274	0,224	0,076	0,062
Cu	0,069	0,036	0,019	0,010
Cr	0,052	0,012	0,015	0,003
Cd	0,0008	< 0,0004	0,0002	< 0,0001
Hg	0,003	< 0,0015	0,0007	< 0,00042

Tabel 4.3 Beregning af koncentrationsbidraget fra salthorsten i TO-5

3.2 Udskylning af ny kaverne

Ved en udskylning af en ny kaverne afhænger stofsammensætningen af den oppumpede saltbrine kun af det udskyllede salts sammensætning, da der ikke findes bundbrine i kaverne.

Den maksimale saltkoncentration i den oppumpede saltbrine fra en ny kaverne vil erfaringsmæssigt svare til mætning ved et saltindhold på ca. 0,30 kg/l.

3.2.1 Vurdering af "worst case" stofudledning fra udskylning af en ny kaverne

I tabel 4.4 er beregnet koncentrationsbidraget fra opløst salthorst ved udskylning af en ny kaverne - ved et *Worst case scenarie*, hvor alt udskyllet stof fra salthorsten forudsættes at blive ført op med den oppumpede saltbrine - også den andel af gips og tungmetaller, som ikke kommer med op, men sedimenteres i kaverne.

Ved beregningerne i tabel 4.4 er forudsat en saltsammensætning svarende til middelsammensætningen af de 6 analyserede saltborekerner fra de eksisterende kaverne samt en saltkoncentration i den oppumpede saltbrine på 0,3 kg/l.

Ny Kaverne	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst i oppumpet saltbrine fra en ny kaverne, hvis alt udskyllet stof oppumpes.	
	Middelsammensætning TO-5 - TO-10		Worst case scenarie	
Parameter	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,6	
NH4	1,4		0,41	
NO2				
NO3	< 30		< 9	
SO4	13.500		4.050	
Cl	587.667		176.300	
ALS:				
Na	412.728		123.818	
Ca	4.549		1.365	
K	798		240	
Mg	431		129	
Mn	0,27		0,08	
Sr	22		7	
Ba	6,5		1,9	
V	0,05		0,016	
Fe	23		6,8	
As	0,016	0,0080	0,005	< 0,0025
Pb	0,578	0,3677	0,173	0,110
Ni	0,030	0,0074	0,009	< 0,0023
Zn	0,491	0,3388	0,147	0,102
Cu	0,139	0,0510	0,042	0,015
Cr	0,075	0,0263	0,022	0,008
Cd	0,002	0,0009	0,00045	< 0,0003
Hg	0,003	0,0004	0,0008	< 0,0001

Tabel 4.4 Stofkoncentrationsbidrag fra den udskyllede salthorst fra en ny kaverne.

Ved beregningerne er benyttet metalanalyser fra ALS i 2009 samt analyser af diverse salte fra TI- analyser fra 2008, som angivet på tabel 4.4.

4. Prognose for kemisk sammensætning af oppumpet saltbrine

4.1 Forudsætninger for prognosen

Den i kapitel 4 foretagne vurdering af sammensætningen af den oppumpede saltbrine er blevet forbedret efter analyse af saltborekerner for tungmetaller hos ALS ved ICP-SFMS, idet alle tungmetallerne nu er bestemt over en detektionsgrænse.

Det vurderede scenarie er dog stadig et "Worst case scenarie", specielt mht. til tungmetaludledningen i den oppumpede saltbrine, idet der ikke tages højde for, at en stor del af salthorstens tungmetaller sedimenteres i kavernen.

For at forbedre prognosen specielt mht. det forventede tungmetalindhold i den oppumpede saltbrine, er overvejet at forbedre forudsætningerne for prognosen med følgende:

- Teoretisk vurdering af den del af tungmetallerne i den opløste salthorst, som vil blive pumpet op og den del som vil sedimenteres i kavernen under udskylningen.
- Sammenligning med tungmetalanalyser af oppumpet saltbrine fra udskylning af de eksisterende kaverne på LI. Torup.
- Sammenligning med tungmetalanalyser af oppumpet saltbrine fra andre tilsvarende kaverneudskylninger.

4.1.1 Teoretisk vurdering af den oppumpede andel af tungmetaller fra salthorsten

En overslagsmæssig beregning af opløseligheden af CaSO_4 i det koncentrerede saltvand fra de opslemmede saltboreprøver viser, at dette er overmættet med gips, således at der i kavernen vil ske en væsentlig udfældning og sedimentation af gips-/anhydrite, som vil rive andre overmættede salte – herunder specielt tungmetaller – samt kolloide og faste partikler med sig til sedimentering på bunden af kavernen.

De aktuelle andele af oppumpede tungmetaller afhænger af turbulensforhold og af de faktiske opløseligheder i det mættede saltvand under udskylningen, og vurderes ikke muligt at beregne med en rimelig sikkerhed. Umiddelbart vurderes dog, at mellem 10 og 70 % af tungmetallerne vil pumpes op af kaverne, medens resten vil sedimentere.

4.1.2 Ældre tungmetalanalyser fra udskylning af kaverne på LI. Torup Gaslager

Som led i kontrollen af de tidligere gennemførte udskylninger af de eksisterende kaverne fra 1983 til 1996 blev der stillet krav til årlige monitoringsrunder.

I forbindelse med udarbejdelsen af VVM-redegørelsen for udvidelsesprojektet er der derfor foretaget en gennemgang af relevante arkiver hos miljømyndighederne såvel som hos bygherre for at indhente relevante analyseresultater. Der er kun fundet analyseresultater for indholdet af tungmetaller i prøver fra årene 1985, 1988, 1989, 1994 og 1995. En oversigt over disse analyser er vist på vedhæftede Bilag 7.4.

Imidlertid fremgår det ikke af de indhentede historiske analyserapporter hvor, og under hvilke betingelser, prøverne er udtaget. Der er således ikke kendskab til, om prøverne er udtaget før, under eller efter fortynding af den mættede saltvandsopløsning.

Der foreligger således ingen veldokumenterede analyser af indholdet af miljøfremmede stoffer i det tidligere udskyllede saltvand, der kan udgøre grundlaget for opstil-

ling af en acceptabel prognose for den oppumpede saltbrines indhold af tungmetaller.

4.1.3 Tungmetalanalyser fra udskylning af andre tilsvarende kaverne

I marts 2009 foranledigede KBB udtaget en serie prøver af udpumpet saltbrine fra udskylning af en tyske kaverne, og prøverne blev analyseret for tungmetaller og diverse salte hos Wessling i Tyskland, jf. analyserapporterne, ref. /7/.

Vedhæftede Bilag 7.3 viser en oversigt over analyseresultaterne, og i tabel 5.1 er gengivet det eneste analyseresultat, som har tungmetalbestemmelser over en detektionsgrænse. Det skal i den forbindelse bemærkes, at der i alle de øvrige prøver var fundet < 50 mg Zn/l og < 50 mg Ni/l.

Mættet saltvand		UHA09-01959-1
Resultater fra KBB		09-025931-01
analyseret hos Wessling		probe 1
Natrium	Na mg/l	100.000
Calcium	Ca mg/l	550
Kalium	K mg/l	530
Magnesium	Mg mg/l	160
Mangan	Mn mg/l	0,17
Strontium	Sr mg/l	8,7
Eisen	Fe mg/l	7
Barium	Ba µg/l	42
Vanadium	V µg/l	<5
Arsen	As µg/l	<5
Blei	Pb µg/l	<5
Zink	Zn µg/l	78
Nickel	Ni µg/l	61
Kupfer	Cu µg/l	17
Chrom	Cr µg/l	7
Cadmium	Cd µg/l	<0,5
Quecksilber	Hg µg/l	0,5

Tabel 5.1 Nye analyser af oppumpet saltbrine fra udskylning af tyske kaverne.

Som det fremgår af Na indholdet, er der tale om en koncentreret saltvandsopløsning.

KBB oplyser, at de udtagne prøver burde være rimelig repræsentativt for kaverne i LI. Torup.

4.2 Prognose for oppumpet saltbrine fra eksisterende kaverne.

I efterfølgende tabel 5.2 er opstillet en prognose for middelsammensætningen af opumpet saltbrine fra 1. genudskylning af de eksisterende kaverne på LI. Torup Gaslager.

Prognosen er primært baseret på vurderingerne i kapitel 4, men der er derudover benyttet forudsætningerne i kapitel 5.1.3 ved valget af de forventede tungmetalindhold.

Kaverne TO-5 - TO-10	Prognose for middelsammensætning af oppumpet saltbrine fra 1. genudskylning af kaverne TO-5, TO-6, TO-7, TO-8, TO-9 og TO-10					
	Koncentrationsbidrag fra udskyllet saltthorst		Koncentrationsbidrag fra bundbrine		Koncentrationsbidrag fra bundbrine og saltthorst	
Parameter	mg/l	opl. mg/l	tot mg/l	opl. mg/l	tot mg/l	opl. mg/l
P	< 0,6				< 0,6	
NH4-N	0,4		0,3		0,7	
NO2-N			< 0,00006		< 0,00006	
NO3-N	< 2		< 0,003		< 2	
SO4	3.777		84		3.861	
Cl	164.135		2.386		166.521	
Na	115.269		1.499		116.768	
Ca	1.272		34		1.306	
K	221		28		249	
Mg	119		22		141	
Mn	0,076		0,09		0,17	
Sr	6,3		0,39		6,7	
Ba	0,178 (10 %)		0,0039		0,182	
V	0,004 (30 %)		0,0012		0,006	
Fe	6,35		0,62		7,0	
As	0,0044	0,0023	0,00027	0,00025	0,0046	< 0,0026
Pb	0,016 (10 %)	0,0103 (10 %)	0,043	0,00317	0,059	0,0134
Ni	0,0084	0,0024	0,0036	0,00195	0,012	< 0,0043
Zn	0,068 (50 %)	0,047 (50 %)	0,0470	0,01961	0,115	0,067
Cu	0,015 (40 %)	0,006 (40 %)	0,0073	0,00349	0,023	0,009
Cr	0,006 (30 %)	0,002 (30 %)	0,0002	0,000019	0,007	0,0022
Cd	0,0004	0,0003	0,0001	0,000018	0,0005	< 0,0003
Hg	0,0007	0,0001	0,000014	0,000024	0,0007	< 0,0001
Ethylenglycol			0,015		< 0,02	
Diethylenglycol			0,147		0,147	
Triethylenglycol			0,410		0,410	
Propylenglycol			0,0024		< 0,002	
Glycoler			0,0024		< 0,002	
Smøreolie			0,0024		< 0,002	
Oppanol			0,0024		< 0,002	
CxHy			0,0155		0,016	
CH-indeks			0,0099		< 0,01	
CH-indeks C10-22			0,0024		< 0,002	
CH-indeks C22-40			0,0096		< 0,01	

Tabel 5.2 Prognose for middelsammensætning af oppumpet saltbrine ved 1. genudskylning af de eksisterende kaverne.

Der skal bemærkes følgende til værdierne i tabel 5.1:

- NH₄, NO₂ og NO₃ er omregnet til NH₄-N, NO₂-N og NO₃-N.
- Saltene (P, N, SO₄, Na og Cl) i bundbrinen er middelværdier af de 6 kaverne, resten er bundbrinens parametre er konservativt medtaget med 90 % fraktile af analyserne fra de 6 kaverne.
- De angivne % reduktioner af middelværdierne for tungmetalbidragene fra saltthorsten er fastsat som et multiplum af 10 %, således, at de resulterende tungmetalindhold bliver i størrelsesordenen af tungmetalindholdene i de tyske analyser fra tilsvarende kaverne. Den mindste reduktion er 10 %.

- Middelværdien for barium er atypisk høj, hvilket skyldes, at Ba indholdet i borekerneudsnittet fra TO-10 var meget høj. Hvis denne værdi udelades vil middelværdien af de øvrige Ba-analyser blive reduceret med ca. en faktor 5.
- Middelværdien for Pb er ligeledes relativ høj, og det skal i den forbindelse bemærkes, at Pb analyseværdierne hos ALS var ca. 3 gange større en hos TI.
- Der har ved fastsættelse af de forventede reducerede tungmetalkoncentrationer været skelet til de indhentede historiske, men ringe dokumenterede analyser, af oppumpet mættet saltvand fra de tidligere gennemførte kaverneudskylninger. Dette har ikke givet anledning til ændringer i prognosens skønnede niveauer.

De nævnte forudsætninger vurderes at give en rimelig god prognose for indholdet af miljøfremmede stoffer i den oppumpede saltbrine.

For de resterende stoffer vurderes der at være tale om en konservativ "worst case" prognose.

4.3 Prognose for oppumpet saltbrine fra udskylning af ny kaverne.

Ny Kaverne	Prognose for middelsammensætning af oppumpet saltbrine fra udskylning af ny kaverne		
	Koncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst		Standardafvigelse STDV
Parameter	tot mg/l	opl. mg/l	tot mg/l
P	< 0,6		0,195
NH4-N	0,4		
NO2-N			2.215
NO3-N	< 2,0		
SO4	4.000		4.406
Cl	175.000		
Na	125.000		2.797
Ca	1.400		263
K	250		477
Mg	130		250
Mn	0,082		0,04
Sr	6,7		1,4
Ba	0,19 (10 %)		0,35
V	1,881 (30 %)		0,0024
Fe	1,78		2,768
As	0,005	0,0025	0,002
Pb	0,017 (10 %)	0,0110 (10 %)	0,010
Ni	0,009	0,0023	0,003
Zn	0,074 (50 %)	0,051 (50 %)	0,037
Cu	0,017 (40 %)	0,006 (40 %)	0,0178
Cr	0,007 (30 %)	0,002 (30 %)	0,004
Cd	0,0004	0,0003	0,0001
Hg	0,0008	0,0001	0,0003

Tabel 5.3 Prognose for middelsammensætning af oppumpet saltbrine ved udskylning af nye kaverne.

I tabel 5.3 er opstillet en prognose for middelsammensætning af oppumpet saltbrine ved udskylning af nye kaverner, under samme forudsætninger som nævnt under prognosen i tabel 5.2. Dog er ikke medtaget bidrag fra bundbrine i Tabel 5.3.

I prognosen i tabel 5.3 er beregnet standardafvigelserne for de enkelte parametre.

I den forbindelse bemærkes, at standardafvigelsen for barium er meget høj. Dette skyldes en enkelt prøve, som er 25 gange højere end gennemsnittet af de resterende prøver. Hvorvidt dette afspejler en reel variation i salthorsten eller er forårsaget af en kontaminering kan ikke umiddelbart afklares.

Såfremt denne enkelte prøve udelades, bliver den forventede middelkoncentration af barium i det mættede saltvand betydeligt lavere end angivet i tabel 5.3.

5. Referencer

- /1/ *Energinet.dk*: Teknisk Rapport 1124, Redegørelse for prøveudtagning, Lille Torup 2007.
- /2/ TI analyserapport, aftale R7000467/08, vedr.: Analyse af brine- og saltboreprøver fra LI. Torup Naturgaslager, juni 2008.
- /3/ ALS Analysis Report, Number L09064529 & L090045030, marts 2009.
- /4/ TI analyserapport, tillæg til aftale R7000467/08, vedr.: Analyse af fosfor i saltboreprøver fra LI. Torup Naturgaslager. december 2008.
- /5/ "Udledning af saltbrine i Lovns Bredning, september 2008," udarbejdet af Rambøll for Energinet.dk.
- /6/ *Energinet.dk*: Detailed working procedure for sample collection – Lille Torup 2007.
- /7/ Wessling Analyserapporter nr. UHA 09-02088-1, UHA 09-02088-1, UHA 09-02088-1, UHA 09-02088-1, UHA 09-02088-1, for oppumpet saltbrine fra udskylning af tyske kaverner.

6. Bilag

6.1 ALS analyser af saltborekerner fra TO-5 til TO-10

Kaverne	Kaverne TO 5		Kaverne TO 6		Kaverne TO 7		Kaverne TO 8		Kaverne TO 9		Kaverne TO 10	
	Analyser af saltboreprøve jf ref. /3/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /3/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /3/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /3/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /3/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /3/	
Parameter	ALS-AB mg/kg	ALS-AB opl. mg/kg	ALS-AB mg/kg	ALS-AB opl. mg/kg	ALS-AB mg/kg	ALS-AB opl. mg/kg	ALS-AB mg/kg	ALS-AB opl. mg/kg	ALS-AB mg/kg	ALS-AB opl. mg/kg	ALS-AB mg/kg	ALS-AB opl. mg/kg
Na	413.632		417.114		424.460		418.720		395.601		406.839	
Ca	4.762		5.090		4.498		4.278		5.764		2.903	
K	< 61,0		103		145		60		93		4.359	
Mg	26,9		23,4		130		71,2		45,3		2.292	
Mn	0,111		0,154		0,308		0,526		0,315		0,223	
Sr	21,7		19,2		26,0		22,9		29,9		14,8	
Ba	0,09		0,73		3,27		1,63		0,80		32,21	
V	0,020		0,065		0,058		0,087		0,076		0,014	
Fe	7,6		19,1		21,6		37,8		21,4		28,9	
As	0,0088	< 0,0087	0,0126	< 0,0087	0,0084	< 0,0087	0,0176	0,0104	0,0167	< 0,0087	0,0300	0,0204
Pb	0,316	0,199	0,295	0,197	0,759	0,419	1,248	0,632	0,285	0,194	0,565	0,565
Ni	0,024	< 0,006	0,029	< 0,006	0,029	0,012	0,044	0,010	0,039	0,009	0,016	0,008
Zn	0,274	0,224	0,486	0,468	0,351	0,254	0,488	0,266	0,327	0,198	1,022	0,623
Cu	0,069	0,036	0,055	0,048	0,061	0,062	0,116	0,053	0,063	0,047	0,468	0,060
Cr	0,052	0,012	0,078	0,020	0,159	0,028	0,067	0,016	0,049	0,041	0,042	0,041
Cd	0,0008	< 0,0004	0,0017	0,0008	0,0017	0,0024	0,0016	0,0008	0,0015	0,0006	0,0017	0,0007
Hg	0,0027	< 0,0015	0,0029	< 0,0015	0,0021	< 0,0015	0,0016	< 0,0015	0,0045	< 0,0015	0,0014	< 0,0015

6.2 TI analyser af saltborekerner fra TO-5 til TO-10

Kaverne	Kaverne TO 5		Kaverne TO 6		Kaverne TO 7		Kaverne TO 8		Kaverne TO 9		Kaverne TO 10	
	Analyser af saltboreprøve jf ref. /2/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /2/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /2/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /2/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /2/		Analyser af saltboreprøve jf ref. /2/	
Parameter	TI- Århus mg/kg	TI- Århus opl. mg/kg	TI- Århus mg/kg	TI- Århus opl. mg/kg	TI- Århus mg/kg	TI- Århus opl. mg/kg	TI- Århus mg/kg	TI- Århus opl. mg/kg	TI- Århus mg/kg	TI- Århus opl. mg/kg	TI- Århus mg/kg	TI- Århus opl. mg/kg
NH4	2	i.a.	< 2	i.a.	i.a.	i.a.	< 2	i.a.	< 2	i.a.	4	i.a.
NO2	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
NO3	< 30	i.a.	< 30	i.a.	< 30	i.a.	< 30	i.a.	< 30	i.a.	< 30	i.a.
SO4	7.500	i.a.	9.500	i.a.	5.000	i.a.	18.000	i.a.	27.000	i.a.	14.000	i.a.
Cl	588.000	i.a.	589.000	i.a.	594.000	i.a.	577.000	i.a.	597.000	i.a.	581.000	i.a.
Na	369.000	i.a.	366.000	i.a.	358.000	i.a.	350.000	i.a.	365.000	i.a.	356.000	i.a.
Ca	4.660	i.a.	6.890	i.a.	2.990	i.a.	13.300	i.a.	4.980	i.a.	4.660	i.a.
K	270	i.a.	440	i.a.	410	i.a.	310	i.a.	440	i.a.	6.630	i.a.
Mg	41	i.a.	49	i.a.	95	i.a.	240	i.a.	38	i.a.	3.150	i.a.
Mn	0,32	i.a.	0,34	i.a.	0,13	i.a.	1,3	i.a.	0,19	i.a.	1,1	i.a.
Sr	24	i.a.	22	i.a.	13	i.a.	64	i.a.	20	i.a.	23	i.a.
Ba	< 2	i.a.	< 2	i.a.	< 2	i.a.	< 2	i.a.	< 2	i.a.	12,1	i.a.
V	< 0,7	i.a.	< 0,7	i.a.	< 0,7	i.a.	< 0,7	i.a.	< 0,7	i.a.	< 0,7	i.a.
Fe	12	i.a.	25	i.a.	7,9	i.a.	69	i.a.	13	i.a.	66	i.a.
As	< 0,05	0,03	< 0,05	0,022	< 0,05	0,028	< 0,05	0,032	< 0,05	0,031	< 0,05	0,032
Pb	0,29	0,178	0,157	0,072	0,241	0,144	0,225	0,044	0,094	0,0263	0,30	0,203
Ni	0,014	0,073	0,065	0,072	0,088	0,078	0,065	0,065	0,069	0,079	0,072	0,082
Zn	0,67	0,206	0,47	0,066	0,43	0,0112	0,4	0,056	0,21	0,051	1,6	0,33
Cu	0,22	0,077	0,22	0,068	0,18	0,043	0,39	0,088	0,13	0,066	0,27	0,06
Cr	0,034	< 0,003	0,07	< 0,003	0,11	< 0,003	0,16	< 0,003	0,063	< 0,003	0,02	< 0,003
Cd	< 0,004	< 0,003	< 0,004	0,0044	0,008	0,0032	< 0,004	< 0,003	< 0,004	< 0,003	0,0047	0,0034
Hg	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,005	< 0,002	< 0,005

6.3 Analyser af oppumpet saltbrine fra udskylning af tyske kaverner

Måttet saltvand Resultater fra KBB analyseret hos Wessling	UHA09-02088-1		UHA09-02081-1				UHA09-01959-1	
	09-026347-01 probe 1	09-026347-01-1 probe 2	09-027742-01 soleprobe 3	09-027742-01-1 soleprobe 3	09-027742-02 gesamtsole	09-027742-02-1 gesamtsole	09-025931-01 probe 1	09-025931-01-1 probe 1
	Natrium Na mg/l	89.000	80.000	94.000	87.000	110.000	100.000	100.000
Calcium Ca mg/l	480	500	720	750	710	740	550	520
Kalium K mg/l	1.700	1.500	360	350	670	630	530	520
Magnesium Mg mg/l	1.100	1.100	710	740	850	890	160	160
Mangan Mn mg/l	0,8	0,8	<0,05	<0,05	0,16	0,16	0,17	0,16
Strontium Sr mg/l	3,7	3,7	7,9	8,1	13	13	8,7	8,6
Eisen Fe mg/l	0,17	0,2	0,21	0,1	0,46	0,3	7	6,4
Barium Ba µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	42	41
Vanadium V µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<5	<5
Arsen As µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<5	<5
Blei Pb µg/l	<30	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<3
Zink Zn µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	78	97
Nickel Ni µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	61	56
Kupfer Cu µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	17	19
Chrom Cr µg/l	<50	<50	<50	<50	<50	<50	7	<5
Cadmium Cd µg/l	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<0,5	<0,5
Quecksilber Hg µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,5	0,4

6.4 Gamle analyser fra udskylning af eksisterende kaverne på LI. Torup

GAMLE DATA - fra etableringen af det eksisterende lager /DMM

Historiske resultater (direkte afskrevet):

	1985 - februar		1988 - marts		1989 - maj		1994 - januar		1995 - januar	
	prøve 1	stærkt saltholdigt valfferskv	ferskv	brine	ferskv	brine	ferskv	brine	ferskv vand	brine
Pb	<0,005	<0,005 mg/l	6	<2 µg/l	<2	2 µg/l	<0,01	<0,01 mg/l	<0,01	<0,01 mg/l
Cd	<0,001	<0,001 mg/l	<1	3 µg/l	<1	4 µg/l	<1	<1 µg/l	<1	<1 µg/l
Ca			55	280 mg/l	61	290 mg/l	n/a	n/a	n/a	n/a
Cu	<0,005	<0,01 mg/l	n/a	n/a	n/a	n/a	<0,01	<0,01 mg/l	0,01	0,02 mg/l
Fe	0,38	0,38 mg/l	2,5	6 mg/l	0,49	<0,01 mg/l	<0,01	1,66 mg/l	0,07	0,56 mg/l
Hg	<0,2	<0,4 µg/l	3,2	5,6 µg/l	6	4 µg/l	<1	<1 µg/l	<1	<1 µg/l
Mn	0,13	0,49 mg/l	0,04	1 mg/l	0,47	<0,01 mg/l	<0,01	0,22 mg/l	0,01	0,04 mg/l
Ni	<0,05	<0,05 mg/l	8	10 µg/l	14	<2 µg/l	<0,01	<0,01 mg/l	<0,01	<0,01 mg/l
Zn	1,05	1,75 mg/l	0	5,17 mg/l	36	<10 µg/l	<0,01	<0,01 mg/l	<0,01	<0,01 mg/l

Brine resultater; omregnet til samme enhed:

	1985	1988	1989	1994	1995
Pb	<5	<2	2	<10	<10 µg/l
Cd	<1	3	4	<1	<1 µg/l
Ca		280	290		mg/l
Cu	<0,01			<0,01	0,02 mg/l
Fe	0,38	6	<0,01	1,66	0,56 mg/l
Hg	<0,4	5,6	4	<1	<1 µg/l
Mn	0,49	1	<0,01	0,22	0,04 mg/l
Ni	<50	10	<2	<10	<10 µg/l
Zn	1750	5170	<10	<10	<10 µg/l

Konc steget, faldet eller uændret i forhold til ferskvand/frisk vand?

	1985	1988	1989	1994	1995
Pb	U	F	S	U	U
Cd	U	S	S	U	U
Ca		S	S		
Cu	S			U	S
Fe	U	S	F	S	S
Hg	S	S	F	U	U
Mn	S	S	F	S	S
Ni	U	S	F	U	U
Zn	S	S	F	U	U

INFO:

Prøvetagning er foretaget af "rekv"

Der er ingen info om hvor prøverne til "brine" er taget (før/under/efter fortynding)

Data fra 1988 og 1989 indeholder ingen information om analysemetode

Stor variation i værdier - især for Fe, Hg, Ni, Zn

metode	1985	1994 + 1995
Pb	AAS/grafitovn	DS2210
Cd	AAS/grafitovn	DS2210
Cu	AAS/grafitovn	DS2210
Fe	AAS/flamme	AAS
Hg	AAS/hydrid	AAS/HYDRID
Mn	AAS/flamme	DS264
Ni	AAS/grafitovn	DS2210
Zn	AAS/flamme	DS259+263

6.5 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-5

Kaverne TO-5	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning.	
	jf. ref. /1/		TI	Wessling	TI- Århus	TI	Wessling/TI-Århus	TI
	tot mg/l	tot mg/l						
NH4	27	32		303	359		0,60	
NO2	< 0,01			< 0,1			< 0,0002	
NO3	< 100	< 1		< 1.123	< 11,2		< 0,02	
SO4	3.370	4.230		37.835	47.490		79	
Cl	180.000			2.020.860			3.354	
Na	94.000	111.625		1.055.338	1.253.214		2.080	
Ca	1.600	1.340		17.963	15.044		30	
K	200	155,1		2.245	1.741		3,7	
Mg	84	95		943	1.067		1,8	
Mn		1,54			17		0,03	
Sr	21	22,6		236	254		0,4	
Ba	0,25	0,105		3	1		0,005	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,6	< 6,7		< 0,0009	
Fe	12	10,6		135	119		0,2	
As		0,02	0,012		0,22	0,13	0,0004	0,0002
Pb	3,1	0,183	0,14	35	2	1,6	0,058	0,003
Ni	0,07	< 0,01	0,02	1	< 0,1	0,2	0,0013	< 0,0004
Zn	1,2	0,33	0,26	13	3,7	2,9	0,022	0,005
Cu		0,056	0,0403		0,6	0,5	0,001	0,0008
Cr		< 0,003	0,0011		< 0,034	< 0,01	< 0,00006	< 0,00002
Cd	< 0,005	< 0,009	0,0009	< 0,06	< 0,1	< 0,01	< 0,0002	< 0,00002
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,022	< 0,01	< 0,00004	< 0,00002
Ethylenglycol	0,35			4			0,007	
Diethylenglycol	2,8			31			0,05	
Triethylenglycol	8,4			94			0,2	
Propylenglycol	< 0,1			< 1,1			< 0,002	
Glycoller		< 0,1			< 1		< 0,002	
Smøreolie		< 0,1			< 1		< 0,002	
Oppanol		< 0,1			< 1		< 0,002	
CxHy								
CH-indeks	< 0,1			< 1			< 0,002	
CH-indeks C10-2	< 0,1			< 1			< 0,002	
CH-indeks C22-4	< 0,1			< 1			< 0,002	

Kaverne TO-5	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet saltthorst i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenario	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,56	
NH4	2		0,56	
NO2				
NO3	< 30		< 8,3	
SO4	7.500		2.083	
Cl	588.000		163.329	
ALS:				
Na	413.632		114.894	
Ca	4.762		1.323	
K	61		17	
Mg	27		7	
Mn	0,11		0,03	
Sr	22		6,0	
Ba	0,09		0,02	
V	0,02		0,006	
Fe	7,6		2,1	
As	0,009	< 0,009	0,002	< 0,002
Pb	0,316	0,199	0,088	0,055
Ni	0,024	< 0,006	0,007	< 0,002
Zn	0,274	0,224	0,076	0,062
Cu	0,069	0,036	0,019	0,010
Cr	0,052	0,012	0,015	0,003
Cd	0,0008	< 0,0004	0,0002	< 0,0001
Hg	0,003	< 0,0015	0,0007	< 0,00042

6.6 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-6

Kaverne TO-6	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning.	
	Wessling tot mg/l	TI- Århus tot mg/l	TI opl. mg/l	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
NH4	27	39		149	215		0,42	
NO2	< 0,01			< 0,1			< 0,0001	
NO3	< 100	< 1		< 552	< 5,5		< 0,01	
SO4	3.970	5.223		21.910	28.826		56	
Cl	180.000			993.420			1.944	
Na	92.000	111.578		507.748	615.799		1.205	
Ca	1.300	1.151		7.175	6.352		14	
K	800	510,0		4.415	2.815		9	
Mg	160	182		883	1.004		2,0	
Mn		4,2			23		0,05	
Sr	26	26,2		143	145		0,3	
Ba	0,18	0,05		1,0	0,28		0,002	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,3	< 3,3		< 0,0005	
Fe	9,3	8,5		51	47		0,1	
As		0,012	0,010		0,07	0,05	0,0001	0,0001
Pb	0,38	0,120	0,081	2	0,7	0,45	0,004	0,0009
Ni	0,09	< 0,01	0,032	0,5	< 0,06	0,18	0,001	0,0003
Zn	0,48	0,29	0,210	2,6	1,6	1,16	0,005	0,0023
Cu		0,076	0,052		0,4	0,29	0,0008	0,0006
Cr		< 0,003	< 0,0006		< 0,02	< 0,003	< 0,00003	0,000006
Cd	< 0,005	< 0,009	< 0,0005	< 0,03	< 0,05	< 0,003	< 0,00005	0,000005
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,01	< 0,000002	0,00001
Ethylenglycol	0,59			3,3			0,006	
Diethylenglycol	4,3			24			0,046	
Triethylenglycol	56			309			0,605	
Propylenglycol	< 0,1			< 0,6			< 0,001	
Glycoller		< 0,1			< 0,6		< 0,001	
Smøreolie		< 0,1			< 0,6		< 0,001	
Oppanol		< 0,1			< 0,6		< 0,001	
CxHy								
CH-indeks	< 0,1			< 0,6			< 0,001	
CH-indeks C10-22	< 0,1			< 0,6			< 0,001	
CH-indeks C22-40	< 0,1			< 0,6			< 0,001	

Kaverne TO-6	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenarie	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,56	
NH4	< 2		< 0,56	
NO2				
NO3	< 30		< 8,4	
SO4	9.500		2.660	
Cl	589.000		164.912	
ALS:				
Na	417.114		116.786	
Ca	5.090		1.425	
K	103		29	
Mg	23		7	
Mn	0,15		0,04	
Sr	19,2		5,4	
Ba	0,73		0,20	
V	0,065		0,02	
Fe	19,1		5,3	
As	0,013	< 0,009	0,004	< 0,0024
Pb	0,295	0,197	0,083	0,055
Ni	0,029	< 0,006	0,008	< 0,002
Zn	0,486	0,468	0,136	0,131
Cu	0,055	0,048	0,015	0,013
Cr	0,078	0,020	0,022	0,006
Cd	0,002	0,0008	0,0005	0,0002
Hg	0,003	< 0,0015	0,0008	< 0,0004

6.7 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-7

Kaverne TO-7	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning.	
	Wessling tot mg/l	TI- Århus tot mg/l	TI opl. mg/l	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
NH4	44	58		225	297		0,56	
NO2	< 0,01			< 0,05			< 0,0001	
NO3	< 100	< 1		< 512	< 5		< 0,01	
SO4	2.950	3.609		15.113	18.489		35	
Cl	184.000			942.632			1.783	
Na	93.000	113.082		476.439	579.319		1.096	
Ca	1.800	1.552		9.221	7.951		17	
K	570	392		2.920	2.008		5,5	
Mg	200	233		1.025	1.194		2,3	
Mn		1,17			6		0,01	
Sr	35	35,2		179	180		0,34	
Ba	0,11	< 0,036		0,6	< 0,2		0,001	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,3	< 3		< 0,0005	
Fe	34,0	32,4		174	166		0,33	
As		0,0084	0,019		0,04	0,1	0,00008	0,0002
Pb	2,90	0,580	0,220	15	3,0	1,1	0,03	0,0021
Ni	0,18	< 0,01	0,060	0,9	< 0,05	0,3	0,002	0,0006
Zn	1,30	0,60	0,220	6,7	3,1	1,1	0,013	0,0021
Cu		0,075	0,051		0,4	0,26	0,0007	0,0005
Cr		0,0059	< 0,0006		0,03	< 0,003	0,00006	0,000006
Cd	< 0,005	< 0,009	0,00095	< 0,03	< 0,05	0,005	< 0,00005	0,000009
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,005	< 0,000002	0,00001
Ethylenglycol	0,57			2,9			0,006	
Diethylenglycol	3,0			15,4			0,03	
Triethylenglycol	6,4			32,8			0,06	
Propylenglycol	< 0,1			< 0,5			< 0,001	
Glycoller		< 0,1			< 0,5		< 0,001	
Smøreolie		< 0,1			< 0,5		< 0,001	
Oppanol		< 0,1			< 0,5		< 0,001	
CxHy								
CH-indeks	0,2			1,0			0,002	
CH-indeks C10-22	< 0,1			< 0,5			< 0,001	
CH-indeks C22-40	0,2			< 1,0			< 0,002	

Kaverne TO-7	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet saltthorst i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenarie	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,56	
NH4	< 2		< 0,56	
NO2				
NO3	< 30		< 8,4	
SO4	5.000		1.402	
Cl	594.000		166.499	
ALS:				
Na	424.460		118.977	
Ca	4.498		1.261	
K	145		41	
Mg	130		36	
Mn	0,3		0,09	
Sr	26		7,3	
Ba	3,3		0,92	
V	0,06		0,02	
Fe	22		6,1	
As	0,008	< 0,009	0,002	< 0,002
Pb	0,759	0,419	0,213	0,117
Ni	0,029	0,012	0,008	0,003
Zn	0,351	0,254	0,098	0,071
Cu	0,061	0,062	0,017	0,017
Cr	0,159	0,028	0,045	0,008
Cd	0,002	0,002	0,0005	0,0007
Hg	0,002	< 0,0015	0,0006	< 0,0004

6.8 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-8

Kaverne TO-8	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning	
	jf. ref. /1/		jf. ref. /2/ TI opl. mg/l	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
	Wessling tot mg/l	TI- Århus tot mg/l						
NH4	16	23		69	100		0,2	
NO2	0,02			0,09			0,0002	
NO3	< 100	< 1		< 433	< 4		< 0,01	
SO4	13.600	19.392		58.929	84.026		167	
Cl	173.000			749.609			1.491	
Na	93.000	110.292		402.969	477.895		951	
Ca	410	410		1.777	1.777		4	
K	5.400	2.860		23.398	12.392		47	
Mg	3.400	3.757		14.732	16.279		32	
Mn		5,0			22		0,04	
Sr	5,9	5,93		26	26		0,05	
Ba	0,11	< 0,036		0,5	< 0,2		< 0,0009	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,2	< 3		< 0,0004	
Fe	28,0	17,6		121	76		0,24	
As		0,015	0,022		0,06	0,10	0,0001	0,00019
Pb	0,340	0,244	0,028	1,5	1,1	0,12	0,0029	0,00024
Ni	0,330	0,073	0,088	1,4	0,3	0,38	0,0028	0,00076
Zn	1,10	0,48	0,099	4,8	2,1	0,43	0,0095	0,00085
Cu		0,113	0,092		0,5	0,40	0,0010	0,00079
Cr		0,048	< 0,0006		0,2	< 0,003	0,0004	0,000005
Cd	< 0,005	< 0,010	0,00118	< 0,02	< 0,04	0,01	< 0,00004	0,00001
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,0009	< 0,009	< 0,004	< 0,000002	0,000009
Ethylenglycol	1,90			8,2			0,02	
Diethylenglycol	7,1			30,8			0,06	
Triethylenglycol	5,7			24,7			0,05	
Propylenglycol	< 0,1			< 0,4			< 0,0009	
Glycoler		< 0,1			< 0,4		< 0,0009	
Smøreolie		< 0,1			< 0,4		< 0,0009	
Oppanol		< 0,1			< 0,4		< 0,0009	
CxHy		1,8			8		0,02	
CH-indeks	0,3			1,3			0,003	
CH-indeks C10-22	0,1			0,4			0,0009	
CH-indeks C22-40	0,2			0,9			0,002	

Kaverne TO-8	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenarie	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,56	
NH4	< 2		< 0,56	
NO2				
NO3	< 30		< 8,4	
SO4	18.000		5.051	
Cl	577.000		161.908	
ALS:				
Na	418.720		117.494	
Ca	4.278		1.200	
K	60		17	
Mg	71		20	
Mn	0,5		0,1	
Sr	23		6	
Ba	1,6		0,46	
V	0,09		0,02	
Fe	38		10,6	
As	0,018	0,010	0,005	0,003
Pb	1,248	0,632	0,350	0,177
Ni	0,044	0,010	0,012	0,003
Zn	0,488	0,266	0,137	0,075
Cu	0,116	0,053	0,033	0,015
Cr	0,067	0,016	0,019	0,004
Cd	0,002	0,0008	0,0004	0,0002
Hg	0,002	< 0,0015	0,0004	< 0,00042

6.9 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-9

Kaverne TO-9	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning.	
	jf. ref. /1/		jf. ref. /2/	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
Parameter	Wessling tot mg/l	TI- Århus tot mg/l	TI opl. mg/l	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
NH4	38	54		48	69		0,18	
NO2	< 0,01			< 0,01			< 0,00003	
NO3	< 100	< 1		< 127	< 1		< 0,003	
SO4	3.980	3.859		5.071	4.916		13	
Cl	180.000			229.320			587	
Na	95.000	113.364		121.030	144.426		370	
Ca	1.900	1.652		2.421	2.105		6,2	
K	450	314		573	400		1,5	
Mg	160	192		204	245		0,63	
Mn		1,63			2		0,005	
Sr	0,16	0,19		0,2	0,2		0,0006	
Ba	0,16	0,05		0,2	0,07		0,0005	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,06	< 0,8		< 0,0002	
Fe	15,0	14,6		19	19		0,05	
As		0,025	0,031		0,03	0,04	0,00008	0,00010
Pb	0,160	0,086	0,033	0,2	0,11	0,04	0,00052	0,00011
Ni	0,080	< 0,01	0,046	0,1	< 0,013	0,06	0,00026	0,00015
Zn	0,37	0,29	0,072	0,5	0,4	0,09	0,00121	0,00023
Cu		0,070	0,052		0,09	0,07	0,00023	0,00017
Cr		< 0,003	< 0,0006		< 0,004	< 0,0008	< 0,00001	0,0000020
Cd	< 0,005	< 0,010	< 0,0005	< 0,006	< 0,01	< 0,0006	< 0,00002	0,0000016
Hg	0,0003	< 0,002	< 0,001	0,0004	< 0,003	< 0,001	0,000001	0,0000033
Ethylenglycol	2			3			0,01	
Diethylenglycol	10			13			0,03	
Triethylenglycol	30			38,2			0,10	
Propylenglycol	< 0,1			< 0,1			< 0,000	
Glycoller		< 0,1			< 0,1		< 0,0003	
Smøreolie		< 0,1			< 0,1		< 0,0003	
Oppanol		< 0,1			< 0,1		< 0,0003	
CxHy								
CH-indeks	< 0,1			< 0,1			< 0,0003	
CH-indeks C10-22	< 0,1			< 0,1			< 0,0003	
CH-indeks C22-40	< 0,1			< 0,1			< 0,0003	

Kaverne TO-9	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet saltthorst i oppumpet saltbrine fra kavernen ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenarie	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,6	
NH4	< 2		< 0,6	
NO2				
NO3	< 30		< 8,5	
SO4	27.000		7.617	
Cl	597.000		168.426	
ALS:				
Na	395.601		111.607	
Ca	5.764		1.626	
K	93		26	
Mg	45		13	
Mn	0,3		0,09	
Sr	30		8,4	
Ba	0,80		0,23	
V	0,08		0,02	
Fe	21		6,0	
As	0,02	< 0,009	0,005	< 0,002
Pb	0,29	0,194	0,080	0,055
Ni	0,04	0,009	0,011	0,003
Zn	0,33	0,198	0,092	0,056
Cu	0,06	0,047	0,018	0,013
Cr	0,05	0,041	0,014	0,012
Cd	0,0015	0,0006	0,0004	0,0002
Hg	0,0045	< 0,0015	0,0013	< 0,0004

6.10 Beregning af stofkoncentrationsbidrag fra 1. genudskylning af TO-10

Kaverne TO-10	Analyser af bundbrine			Stofindhold i bundbrinen			Bundbrinens koncentrationsbidrag i oppumpet saltbrine fra kaveren ved 1. udskylning.	
	jf. ref. /1/		jf. ref. /2/ TI opl. mg/l	Wessling tot. kg	TI- Århus tot. kg	TI opl. kg	Wessling/TI-Århus tot mg/l	TI opl. mg/l
	Wessling tot mg/l	TI- Århus tot mg/l						
NH4	9,2	11,1		109	132		0,32	
NO2	< 0,01			< 0,1			< 0,0003	
NO3	< 100	< 1		< 1.187	< 12		< 0,03	
SO4	3.000	5.328		35.604	63.233		153	
Cl	180.000			2.136.240			5.155	
Na	95.000	115.045		1.127.460	1.365.354		3.295	
Ca	1.300	1.175		15.428	13.945		37	
K	300	222		3.560	2.635		9	
Mg	370	417		4.391	4.949		12	
Mn		4,7			56		0,1	
Sr	12,0	12,6		142	150		0,36	
Ba	0,11	< 0,036		1,3	< 0,4		0,003	
V	< 0,05	< 0,6		< 0,6	< 7		< 0,001	
Fe	32,0	21,1		380	250		0,9	
As		0,0059	0,0096		0,07	0,11	0,0002	0,00027
Pb	0,520	0,228	0,13	6,2	2,7	1,5	0,015	0,0037
Ni	0,150	0,070	0,119	1,8	0,8	1,4	0,004	0,0034
Zn	2,50	1,47	1,20	30	17	14	0,072	0,0344
Cu		0,47	0,216		6	2,6	0,013	0,00619
Cr		< 0,003	< 0,0006		< 0,04	< 0,007	< 0,00009	0,000017
Cd	< 0,005	< 0,010	0,00064	< 0,06	< 0,12	0,008	< 0,0001	0,000018
Hg	< 0,0002	< 0,002	< 0,001	< 0,002	< 0,02	< 0,01	< 0,000006	0,000029
Ethylenglycol	< 0,5			< 5,9			< 0,01	
Diethylenglycol	8,1			96			0,232	
Triethylenglycol	7,5			89			0,215	
Propylenglycol	< 0,1			< 1,2			< 0,003	
Glycoller		< 0,1			< 1,2		< 0,003	
Smøreolie		< 0,1			< 1,2		< 0,003	
Oppanol		< 0,1			< 1,2		< 0,003	
CxHy								
CH-indeks	0,6			7,1			0,02	
CH-indeks C10-22	0,1			1,2			0,003	
CH-indeks C22-40	0,6			7,1			0,02	

Kaverne TO-10	Analyser af saltboreprøver		Koncentrationsbidrag fra udskyllet salthorst i oppumpet saltbrine fra kaveren ved 1. udskylning, hvis alt udskyllet stof oppumpes. Worst case scenarie	
	ALS/TI mg/kg	ALS opl. mg/kg	ALS/TI mg/l	ALS opl. mg/l
TI:				
P	< 2		< 0,5	
NH4	4		1,1	
NO2				
NO3	< 30		< 8,2	
SO4	14.000		3.849	
Cl	581.000		159.738	
ALS:				
Na	406.839		111.855	
Ca	2.903		798	
K	4.359		1.198	
Mg	2.292		630	
Mn	0,2		0,1	
Sr	15		4,1	
Ba	32		8,9	
V	0,014		0,004	
Fe	29		8	
As	0,030	0,020	0,008	0,006
Pb	0,565	0,565	0,155	0,155
Ni	0,02	0,008	0,0044	0,002
Zn	1,0	0,623	0,281	0,171
Cu	0,47	0,060	0,129	0,016
Cr	0,04	0,041	0,012	0,011
Cd	0,002	0,0007	0,0005	0,0002
Hg	0,0014	< 0,0015	0,0004	< 0,0004