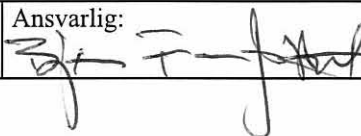


NGU Rapport 2010.040

Overvåkingsplan for undergrunnen ved Bryggen  
i Bergen

Rapport nr.: 2010.040		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Overvåkingsplan for undergrunnen ved Bryggen i Bergen			
Forfatter: Hans de Beer (NGU), Henning Matthiesen (Nationalmuseet Danmark)		Oppdragsgiver: Riksantikvaren	
Fylke: Hordaland Fylke		Kommune: Bergen	
Kartblad (M=1:250.000) BERGEN		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Bergen, 1115 I	
Forekomstens navn og koordinater: Bryggen i Bergen		Sidetall: 19 Vedlegg: 12	Pris: 250
Feltarbeid utført: -	Rapportdato: 01.02.2011	Prosjektnr.: 271222	Ansvarlig: 
Sammendrag:			
<p>De organiske kulturlagene ved Bryggen i Bergen er stedvis utsatt for betydelig nedbryting som følge av senket grunnvannstand og økt oksygeninnhold i grunnen. Dette har igjen ført til unormalt store setninger i undergrunnen og betydelig setningsskader på den fredete trehusbebyggelsen. Det er planlagt tekniske tiltak for å heve grunnvannstanden, for å redusere nedbrytingshastigheten og setningsforløpet. De vurderte tiltakene er forskjellige, men alle har som primær målsetning å skape et skille (enten fysisk eller hydrologisk) mellom området Bryggen og hotelltomten på vestsiden av Bryggen. Det har i skrivende stund ikke blitt gjennomført et endelig valg av tiltak, men Riksantikvaren anser det som meget viktig å få utformet en overvåkingsstrategi samt og få etablert et overvåkingssystem i undergrunnen for å kartlegge den nåværende situasjonen før tiltak settes i verk. Dette overvåkingssystemet vil også bli benyttet for å dokumentere effekter av de framtidige tiltakene.</p>			
Overvåkingen utføres for:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- å avgjøre om tiltakene for å heve grunnvannstanden og stabilisere hydrologiske forholdene er tilstrekkelig effektive for å oppnå ønsket effekt;</li> <li>- å følge eventuelle negative effekter på bygninger og kulturminner mens tiltakene gjennomføres;</li> <li>- å dokumentere om bevaringsforholdene i området forbedres som følge av gjennomførte tiltak.</li> </ul>			
<p>Forskningsresultater fra andre liknende bevaringsprosjekter har vist at nedbrytning av organiske kulturlag kan reduseres betraktelig ved å etablere et høyt grunnvannsnivå, med mest mulig stillestående, oksygenfritt vann. Overvåkingstiltakene innenfor verdenskulturarvområdet vil derfor omfatte 3 typer overvåking: a) <i>Vannkvantitet</i>; Grunnvannstand, -trykk og -strømning i mettet sone, jordfuktighet i umettet sone, b) <i>Vannkvalitet, oksygen og temperatur</i>; Vannkjemi, oksygen og temperatur i mettet og umettet sone og c) <i>Setninger</i>; bevegelser av terreng og bygninger. Overvåkingsplanen beskriver overvåking i fasen før etablering av tiltak for å heve grunnvannsnivået (fase 1, dagens situasjon), mens tiltakene blir etablert (fase 2) og etterpå (fase 3, vedlikehold). Rapporten omfatter oversikter over målepunkter, referanseverdier, samt mål (signalverdier) for framtidig grunnvannstand, -trykk, -temperatur, jordfukt, kjemisk sammensetning av grunnvann og setningshastighet på målepunktnivå. Rapporten er sammenstilt i samarbeid med Henning Matthiesen ved Nationalmuseet i Danmark og med bidrag av Multiconsult AS i Bergen.</p>			
Emneord: overvåking	grunnvann	grunnvannskjemi	
setninger	geoteknikk	umettet sone	

## INNHold

1.	INNLEDNING .....	4
2.	MÅL OG UTGANGSPUNKTER.....	4
3.	OVERVÅKINGSPLAN.....	6
3.1	FASE 1: NÅSITUASJON .....	6
3.1.1	Vannkvantitet .....	6
3.1.2	Vannkvalitet, oksygen og temperatur.....	9
3.1.3	Setninger.....	12
3.2	FASE 2: ETABLERING AV TILTAK .....	13
3.2.1	Vannkvantitet .....	14
3.2.2	Vannkvalitet, oksygen og temperatur.....	14
3.2.3	Setninger.....	15
3.3	FASE 3: VEDLIKEHOLD .....	16
3.3.1	Vannkvantitet .....	16
3.3.2	Vannkvalitet, oksygen og temperatur.....	16
3.3.3	Setninger.....	16
4.	KOSTNADER.....	16
5.	REFERANSER .....	18

## TABELLER

Tabell 1	Referansenivåer for grunnvannstand per miljøbrønn.
Tabell 2	Signalverdier for grunnvannstand per miljøbrønn.
Tabell 3	Referanseverdier for jordfukt per sensor.
Tabell 4	Referanse- og signalverdier for temperatur per datalogger (siden 2006).
Tabell 5	Referanse- og signalverdier bevegelseshastighet per målepunkt.
Tabell 6	Kostnadsoversikt 1. år.
Tabell 7	Kostnadsoversikt oppfølgende år.

## VEDLEGG

Vedlegg 1	Kortfattet sammendrag av de viktigste undersøkelsesresultatene på Bryggen.
Vedlegg 2	Oversikt overvåking grunnvann og jordfukt.
Vedlegg 3	Oversikt egenskaper miljøbrønner og målere i umettet sone.
Vedlegg 4	Måleresultater grunnvannstand fram til 19. juni 2010.
Vedlegg 5	Tolkning av grunnvannsspeilet (referanse lav grunnvannstand).
Vedlegg 6	Måleresultater jordfukt fram til 2010 (Matthiesen, 2010).
Vedlegg 7	Måleserier grunnvannstemperatur fram til 19. juni 2010.
Vedlegg 8	Oversikt referanseverdier grunnvannstemperatur (median).
Vedlegg 9	Referansesituasjonen bevaringsforhold (Matthiesen, 2010).
Vedlegg 10	Oversikt målepunkter setninger og bevegelser (Multiconsult og ANKO 2010).
Vedlegg 11	Tolkning av setningshastigheten (Multiconsult, 2010).
Vedlegg 12	Brev fra NGU til Riksantikvaren fra 21. juni 2010 med referanse 10/00067-8.

## 1. INNLEDNING

De organiske kulturlagene ved Bryggen i Bergen er stedvis utsatt for betydelig nedbryting og som følge av senket grunnvannstand og økt oksygeninnhold i grunnen. Dette har igjen ført til unormalt store setninger i undergrunnen og betydelig setningsskader på den fredete trehusbebyggelsen. I perioden 2001-2010 ble det etablert et overvåkingssystem for setninger på terreng og bygninger, samt grunnvann og jordfukt i undergrunnen. Overvåkingen har som mål å kartlegge og overvåke bevegelser på terreng og bygninger, samt følge grunnvannets kvalitet og trykkehøyde for så å kunne vurdere årsakssammenheng mellom endringer i grunnvannstand og setningsforløp. Resultatene fra overvåkingen vil også bli benyttet for å gjennomføre tiltak for å redusere skadelige effekter på de historiske bygninger og tap av kulturlag.

For beskrivelser av bevarings-, hydrogeologiske og setningsforhold og årsakssammenheng vises det til De Beer (2008), De Beer & Matthiesen (2008), Matthiesen (2005, 2007, 2008, 2010a, 2010b) og Jensen (2009 og 2010). Bevaringsforholdene i kulturlagene er vurdert i henhold til Norsk Standard NS:9451 fra 2009, og varierer fra nivå 1 (elendig) til 5 (utmerket).

En kortfattet sammendrag av de viktigste resultatene fra disse arbeidene er fremstilt i vedlegg 1.

Det er utført en analyse av mulige tekniske tiltak for å gjenopprette grunnvannsnivå innen området Bryggen, slik at nedbrytingshastigheten og setningshastigheten avtar (Multiconsult 2009, oversendt fra Riksantikvaren til Vital). Denne analysen er kvalitetssikret av SINTEF (2010), som støtter konklusjonene, men peker også på enkelte viktige usikkerhetsmomenter ved de foreslåtte tekniske tiltak. SINTEF anbefaler i tillegg å utrede infiltrasjonsalternativet videre basert på en kost/nytte analyse (Christensen og Danielsen, 2010).

Selv om de vurderte tiltakene er forskjellige, har alle som primær målsetning å skape et skille (enten fysisk eller hydrologisk) mellom Verdenskulturarvstedet Bryggen og den drenerte hotelltomten på vestsiden av Bryggen, som er omgitt av en spuntvegg. Det har i skrivende stund ikke blitt gjennomført et endelig valg av tiltak, men Riksantikvaren anser det som meget viktig å få utformet en overvåkingstrategi samt og få etablere et overvåkingssystem i undergrunnen for å kartlegge den nåværende situasjonen før tiltak settes i verk. Dette overvåkingssystemet vil også bli benyttet for å dokumentere effekter av de framtidige tiltakene.

Arbeidet med overvåkingen er utført med midler fra Riksantikvaren.

## 2. MÅL OG UTGANGSPUNKTER

Overvåkingen utføres:

Overvåkingen utføres for:

- å avgjøre om tiltakene for å heve grunnvannstanden og stabilisere hydrologiske forholdene er tilstrekkelig effektive for å oppnå ønsket effekt;
- å følge eventuelle negative effekter på bygninger og kulturminner mens tiltakene gjennomføres;
- å dokumentere om bevaringsforholdene i området forbedres som følge av gjennomførte tiltak.

Målet er å få stoppet setninger og nedbrytning av kulturlag og fundamenter, gjennom å bedre bevaringsforholdene over hele området Bryggen til nivå 5 (utmerket) eller 4 (god). Forskning (Clymo, 1982) har vist at nedbrytning av organisk material er blant annet påvirket av reaksjonsevnen til det organiske materialet, vanninnhold, mikroorganismer i grunnen, temperatur og tilførsel av oksiderende stoffer, hvorav oksygen er mest viktig. En sterk reduksjon av nedbrytningshastigheten kan derfor oppnås ved å etablere et høyt grunnvannspeil, med mest mulig stillestående, oksygenfritt vann innenfor verdenskulturavområdet.

I dag er deler av undergrunnen ved Bryggen sterkt påvirket av drenering under Royal Raddison SAS Blu hotellet (NGU, 2008) som fører til en senkning av den gjennomsnittlige grunnvannstanden. I tillegg er det observert dynamiske variasjoner og en rask gjennomstrømning av oksygenrikt grunnvann gjennom kulturlagene.

Den endelige utformingen av overvåkingsprogrammet er avhengig av hvilket tiltak eller kombinasjon av tiltak velges. Siden dette valget ennå ikke er gjort, er overvåkingsplanen basert på at det lages en fullstendig tetting av spuntveggen, og at det skal infiltreres regnvann for øke grunnvannstanden ytterligere og sikre et stabilt høyt grunnvannsnivå i området. En fullstendig tetting av spuntveggen er den løsningen som er anbefalt av Multiconsult AS i sin analyse fra 2009. En økt lokal overvannshåndtering og kunstig infiltrasjon av regnvann på Bryggen gjennom bruk av systemer for lokal deponering av overvann (LOD) vil kunne være en del av en naturlig bærekraftig byutvikling, som kan bli tilrettelagt for å unngå en uønsket grunnvannssenkning grunnet drenering i nærområdet.

Oppsett av overvåkingsprogrammet er avhengig av hvordan tettingen av spuntveggen praktisk skal gjennomføres. Trinnvis utførelse, materialbruk, midlertidige grunnvannsuttak, utskifting av pukk, bruk av leire og så videre vil ha følger for overvåking av grunnvannsstand, prøvetaking og nødvendige analyser. Overvåkingsplanen er basert på den anbefalte hovedløsningen.

Overvåkingsplanen omfatter 3 typer overvåking:

- A. Grunnvannstand og poretrykk i mettet sone, jordfuktighet i umettet sone (vannkvantitet)
- B. Vannkjemi, oksygen og temperatur i mettet og umettet sone (vannkvalitet, oksygen og temperatur)
- C. Bevegelser i terreng og bygninger (setninger)

Overvåkingsplanen er delt opp i 3 faser:

1. *Nåsituasjon*. Kartlegging av dagens grunnvannsforhold og jordfukt/metningsgrad (type A), vannkjemi, oksygen og temperatur (type B), samt bevegelser av terreng og bygninger inn- og utenfor Bryggen (type C). Denne overvåkingen er nærmest fullstendig med dagens overvåking, men trengs supplerings med måling av strømningshastighet for grunnvann, samt oksygen og temperatur i umettet sone.
2. *Etablering av tiltak*. Overvåking (A, B og C) mens tiltakene blir gjennomført. Endringer i grunnvannstand/poretrykk overvåkes kontinuerlig. Strakstiltak bør settes i gang for å unngå eventuelle skader på bygninger eller kulturminner under eller over terreng. Denne fasen blir trinnvis utført, og starter med heving av dreneringsnivået under Royal Radisson SAS Blu hotellet.
3. *Vedlikeholdsfase*. Overvåking (A, B og C) for å vurdere om målet med å få redusert setninger og nedbrytning av kulturlag og fundamenter oppnås over lang tid, og ikke blir svekket på grunn av nye hendelser.

### 3. OVERVÅKINGSPLAN

#### 3.1 FASE 1: NÅSITUASJON

##### 3.1.1 Vannkvantitet

###### *Grunnvannstand og poretrykk*

En oversikt over miljøbrønnene hvor det pr. i dag overvåkes grunnvannstand (og trykk i dypere lag), samt jordfukt, er fremstilt i vedlegg 2. Overvåkingssystemet består i dag av 33 miljøbrønner, 1 flernivåbrønn og 4 jordfuktmålere. 19 miljøbrønner er utstyrt med dataloggere, hvorav 11 er koblet opp til et system for fjernavlesning og styring (e-Sense®). Alle dataloggere måler grunnvannstrykk hver hele time. I de øvrige 15 miljøbrønner er ingen systematisk overvåking, men grunnvannstanden måles manuelt minst en gang per år. En tabellarisk oversikt over miljøbrønnene med koordinater, filterdybde, høyde i forhold til NN1954 er gitt i vedlegg 3. Alle måleresultatene fram til 19. juni 2010 er fremstilt i vedlegg 4, både i forhold til det lokale terrengnivået og NN1954. Målingene er korrigert i forhold til barometriske trykkvariasjoner ved hjelp av logger i MB22, som måler barometrisk trykk.

I tabell 1 er 5- og 95-persentilene for henholdsvis den laveste og høyeste målte grunnvannstand gjengitt, samt medianverdien basert på måleresultatene gitt i vedlegg 4. Ved å bruke persentiler blir de mest ekstreme registreringer utelatt, som ikke brukes som grunnlag for tiltak. Ofte representerer ekstreme verdier også feilregistreringer, for eksempel på grunn av at en datalogger midlertidig ble fjernet, for prøvetaking. I forhold til nedbrytings- og setningspotensialet, bør den laveste målte grunnvannstanden (5-persentil) betraktes som et alarmeringsnivå. Grunnvannstanden skal under gjennomføring av tiltak ikke komme lavere enn dette nivået. Det skal påses at medianverdiene for grunnvannsnivåene i overvåkingsbrønnene over lengre tid ikke synker i forhold til referanseverdiene gitt i tabell 1.

Miljøbrønn	Referanse GVS LAV		Referanse GVS MEDIAN		Referanse GVS HØY	
	referansenivå	NN1954 (m)	terreng- overflate (m)	NN1954 (m)	terreng- overflate (m)	NN1954 (m)
MB1*			+2,19	-0,60		
MB2	+1,07	-1,11	+1,25	-0,93	+1,48	-0,70
MB4*			+0,60			
MB5*			+0,30			
MB6*			+1,00			-
MB7	+0,39	-3,82	+0,77	-3,44	+1,26	-2,95
MB8*			+0,90			
MB9**	+0,06		+0,17		+0,47	
MB10*			+0,40			
MB11	+11,62	-5,29	+12,00	-4,91	+12,33	-4,58
MB12*			+0,10			
MB13	+0,40	-1,54	+0,59	-1,35	+0,83	-1,11
MB14*			+1,20			
MB15*						
MB16	+0,20	-1,94	+0,37	-1,77	+0,62	-1,52
MB17	+0,26	-1,88	+0,42	-1,71	+0,70	-1,43
MB18	+0,27	-2,64	+0,43	-2,47	+0,64	-2,26
MB19*			+0,30			
MB20*			+0,30			
MB21	< +1,24	< -2,26	+1,28	-2,22	+2,08	-1,42
MB22	+0,48	-4,19	+0,81	-3,87	+1,26	-3,41
MB23	+0,33	-1,66	+0,48	-1,50	+0,77	-1,21
MB24*						
MB25	+0,15	-0,85	+0,40	-0,60	+0,63	-0,37
MB26	+0,16	-0,81	+0,35	-0,62	+0,58	-0,39
MB27	+0,25	-0,68	+0,44	-0,49	+0,63	-0,30
MB28*						
MB29	+0,31		+0,46		+0,68	
MB30*			+4,06			
MB31*			+3,42			
MB32*			+2,33			
MB33*			+1,03			

**Tabell 1** Referansenivåer grunnvannstand i miljøbrønner. \* = måles manuelt eller for kort måleserie for å beregne lav og høy referanseverdi. Medianverdiene for disse miljøbrønner er estimater. \*\* = basert på NIVA, 2005. GVS = grunnvannstand.

Vedlegg 5 viser en tolkning av grunnvannsspeilet som kan betraktes som representativ for det årlig laveste grunnvannsnivå.

For et utvalg av miljøbrønner som er viktige i forhold til de planlagte tiltakene, er det i tillegg til referanseverdiene satt opp signalverdier for laveste og høyeste grunnvannstand (tabell 2). Signalverdiene avgrensner den grunnvannssituasjonen som ønskes oppnådd, og hvor nedbrytings- og setningsprosesser blir redusert maksimalt. Signalverdien for den øvre grunnvannstand er satt på 1,0 m under terrengnivå for å redusere forråtnelse i fundamentene og samtidig unngå fuktproblemer i bygningene. Nivået er basert på en gjennomsnittlig gulvtykkelse i bygningene på 0,05 m, en tykkelse på de øverste fundamentene på 0,75 m (bolverk og eventuell kapillærbrytende lag), og en kapillær stigningssone på 0,20 m. Gulvnivået varierer i forhold til terrengnivået og det vil stedvis derfor være mulig å tillate en noe høyere grunnvannstand under bygningene. Siden det gulvnivået til hver enkel bygning ikke er kjent per i dag, antas det foreløpig at terrengnivået er likt med gulvnivået.

NR	Signalverdi NEDRE GVS		ØNSKET GVS		Signalverdi ØVRE GVS		Mål HEVING
	ref.	terreng (m)	NN1954 (m)	terreng (m)	NN1954 (m)	terreng (m)	(m)
MB2	+1,05	?	+1,25	?	+1,45	?	0,00
MB4	+0,22	-1,40	+0,42	-1,20	+0,62	-1,00	?
MB5	+0,27	-1,40	+0,47	-1,20	+0,67	-1,00	0,18*
MB7	+2,81	-1,40	+3,01	-1,20	+3,21	-1,00	2,24
MB8	+2,86	-1,40	+3,06	-1,20	+3,26	-1,00	1,77*
MB13	+0,54	-1,40	+0,74	-1,20	+0,94	-1,00	0,15
MB15	+0,51	-1,40	+0,71	-1,20	+0,91	-1,00	0,34*
MB16	+0,74	-1,40	+0,94	-1,20	+1,14	-1,00	0,57
MB17	+0,73	-1,40	+0,93	-1,20	+1,13	-1,00	0,51
MB18	+1,50	-1,40	+1,70	-1,20	+1,50	-1,00	1,27
MB21	+2,71	-1,40	+2,91	-1,20	+3,11	-1,00	1,67
MB22	+3,27	-1,40	+3,47	-1,20	+3,67	-1,00	2,67
MB23	+0,98	-1,40	+0,78	-1,20	+0,58	-1,00	0,30
MB30	+6,49	-1,40	+6,69	-1,20	+6,89	-1,00	2,43*
MB31	+5,25	-1,40	+5,45	-1,20	+5,65	-1,00	2,03*
MB32	+3,14	-1,40	+3,34	-1,20	+3,54	-1,00	1,01*
MB33	+1,93	-1,40	+2,13	-1,20	+2,33	-1,00	1,10*
MB25	+0,15	-0,85	+0,40	-0,60	+0,60	-0,40	-
MB26	+0,16	-0,81	+0,35	-0,62	+0,57	-0,40	-
MB27	+0,25	-0,68	+0,44	-0,49	+0,53	-0,40	-

**Tabell 2** Signalverdier grunnvannstand ved framtidig heving av grunnvannsnivå

Den nedre signalverdi er basert på fluktuasjonen som per i dag måles i sentrale deler av Bryggen (MB2), og hvor bevaringstilstand er ansett å være gode. Her varierer grunnvannstanden cirka 0,40 m gjennom året. Generelt er målet å redusere grunnvannsvariasjoner mest mulig for å oppnå gode bevaringsforhold. En naturlig variasjon på grunn av varierende meteorologiske forhold og tidevannsvariasjoner vil derimot også i framtida forekomme. Det blir betraktet som urealistisk å kunne oppnå en høy grunnvannstand uten variasjon i et (delvis) åpent hydrologisk system.

#### *Grunnvannsstrøm*

Det finnes inntil videre ingen direkte målinger av permeabilitet og dermed er strømningshastigheter for grunnvannet, estimert ut fra den hydrogeologiske modelleringen. For den sentrale delen av Bryggen (rundt MB6), vurderes den vertikale strømmingen til å være mellom 0,1 og 1,0 m/år. Langs spuntveggen vurderes den vertikale strømmingen til å være betydelig høyere, opp til 3 m/år. Ved havnefronten er det en høy strømningshastighet og hyppig utskiftning med havvann i de øvre mindre tettpakkede, kulturlagene. Det har ikke blitt utført direkte forsøk for å måle permeabilitet gjennom prøvepumping og kartlegge strømningshastigheten med hjelp av sporstofforsøk.

De beste bevaringsforhold oppnås ved et høyt grunnvannspeil med stillestående vann. Det er således et mål å få redusert strømningshastigheten i kulturlagene, spesielt langs spuntveggen og ved havnefronten. Sluttmålet ligger på strømningshastighet på grunnvannet rundt 0,1 m/år. Det er i første omgang nødvendig å utføre enkelte direkte målinger av den aktuelle strømningshastighet, enten i form av traserforsøk, prøvepumping i eksisterende miljøbrønner eller gjennom datering av vannprøver. Overvåking av heving av dretnivået under Radisson SAS Blu hotellet vil trolig også gi mer kunnskap om permeabilitet og strømningshastighet av grunnvannet i kulturlagene.



### Jordfukt (umettet sone)

Jordfuktmålere er installert av National Museet Danmark (Matthiesen 2007) i 2006 mellom MB7 og MB21, se vedlegg 2, lokalitet US1. Jordfuktsensorer (type SM200, DeltaT) er installert i de øverste 2 m på henholdsvis kote +3,27 m, 2,81 m, 2,43 m og 1,98 m (NN1954). Fuktsensorene har målt kontinuerlig siden 2006 og måleresultatene gir en gode bakgrunnsdata for US1. Måleresultatene fram til 2010 er fremstilt i vedlegg 6. Utgangspunktet er at jordfukten ikke skal synke i forhold til dagens situasjon under gjennomføring av tiltakene, men at den tvert imot gjerne må stige. Tabell 3 viser referanseverdiene for jordfukt per sensor (lav, høyt og medianverdi). Utgravningen ved US1 skal gjenåpnes høst 2010, hvor det blant annet skal installeres nye loggere fra produsent Delta-T, fordi den har et større måleområde enn modellen SM200 fra samme produsent, som benyttes nå. I tillegg anbefales det å installere en sensor av type ProfileProbe (Delta-T) i nærheten av MB22 for å måle vanninnhold i den umettede sone der (vedlegg 2, lokalitet US2). Sistnevnte sensor installeres fra terreng og krever ingen utgravning, men kan kun måle i den øverste meteren. Sensor ved lokalitet US2 skal installeres i god tid før tiltakene settes i gang for å kunne etablere bakgrunnsdata for dette området.

Sensor	Referanse LAV	Referanse MEDIAN	Referanse HØY	Referanse std.avv.	antall målinger	signalverdi
	% vol.	% vol.	% vol.	% vol.		% vol.
<b>3,27</b>	-	48,78	-	6,27	9.824	>50
<b>2,81</b>	-	64,68	-	2,40	9.873	>70
<b>2,43</b>	-	41,77	-	10,23	8.692	>50
<b>1,98</b>	-	69,78	-	4,07	5.383	>80

Tabell 3 Referanse og signalverdier jordfukt

Som signalverdier for jordfukt foreslås følgende verdier for de enkelte sensorer: 1,98 m asl., >80% vol., 2,43 m asl., >50% vol., 2,81 m asl., >70% vol., og 3,27 m asl., >50% vol. Signalverdiene skal revurderes når det foreligger målinger av oksygenedtrengning, så man kan se hvilke fuktinnhold det er nødvendig for å hindre oksygentilgang.

### Dreneringssystemet

I tillegg til overvåkingen som nevnt ovenfor, anbefales det å installere en vannmåler i dreneringssystemet under Royal Radisson SAS Blu hotellet, for å etablere bakgrunnsdata i forhold til vannmengden som strømmer ut fra dreneringssystemet. Siden dreneringssystemet er i mer eller mindre åpen kontakt med Vågen, er strømningsforholdene dynamiske og fase med tidevannet. Det anbefales å måle vannmengde og strømningsretning hvert 15. minutt. Det forventes at vannmengden vil reduseres betraktelig gjennom de planlagte tiltakene.

#### 3.1.2 Vannkvalitet, oksygen og temperatur

##### Temperatur

I tillegg til poretrykkmålinger og grunnvannsnivåmålinger, måler alle dataloggere også temperatur hver time. I tillegg måles grunnvannets ledningsevne i loggere plassert i MB28, MB29 og MB26.

Miljøbrønn	Referanse LAV TEMP	Referanse MEDIAN TEMP	Referanse HØY TEMP	Signalverdi
	grader Celsius	grader Celsius	grader Celsius	grader Celsius
<b>MB2</b>	9,40	10,94	12,11	9,00
<b>MB5*</b>		9,00		9,00
<b>MB7</b>	7,97	8,77	10,28	9,00

Miljøbrønn	Referanse LAV TEMP	Referanse MEDIAN TEMP	Referanse HØY TEMP	Signalverdi
	<i>grader Celsius</i>	<i>grader Celsius</i>	<i>grader Celsius</i>	<i>grader Celsius</i>
MB11	5,96	8,76	11,78	-
MB13	10,88	12,40	14,47	9,00
MB15*		11,40		9,00
MB16	11,04	12,99	15,51	9,00
MB17	11,58	12,01	12,72	9,00
MB18	10,41	11,31	12,20	9,00
MB21	4,99	8,06	12,13	9,00
MB22	10,16	11,83	14,42	9,00
MB23	11,21	11,64	12,05	9,00
MB25	7,90	9,57	10,94	ingen endring
MB26	5,29	8,86	13,11	ingen endring
MB27	5,46	8,16	12,70	ingen endring
MB29	7,00	7,56	9,87	ingen endring
MB32*		9,75		9,00
MB33*		9,40		9,00
BaroDiver®	3,69	7,33	16,02	-
Bergen Florida	-0,40	8,30	17,70	-
Sjøvann Indre Utsira	3,65	9,01	17,53	-

**Tabell 4** Referanseverdier grunnvanns-, luft- og sjøvannstemperatur (periode 2007-2010). Med \* markerte miljøbrønner har for korte måleserier for å beregne referanseverdier.

Tabell 4 viser bakgrunnsnivået for temperatur basert på utførte målingene med dataloggere siden desember 2006. I likhet med grunnvannstrykket, er de gjengitte tallene 5-, og 95-persentiler for henholdsvis laveste og høyeste temperatur, samt median. Ekstreme (feil)registreringer er dermed utelatt. I vedlegg 7 er måleresultatene grafisk fremstilt, mens vedlegg 8 viser medianverdiene til temperaturmålingene på et oversiktskart.

Det er ukjent hvordan temperatur påvirker bevaringsforholdene, men det antas at nedbrytingen av organisk material øker med temperatur (Jerbøl AB/KM gruppen, 1990). Grunnvannstemperaturen under Bryggen er påvirket av:

- lokal lufttemperatur;
- sjøvannstemperatur;
- temperaturen til grunnvannet som tilstrømmer fra tilsigsområdet og
- eksterne varmekilder som oppvarming av bygg.

Mediantemperaturen i MB11 kan trolig betraktes som en god referanse for temperaturen til grunnvannet som tilstrømmer fra tilsigsområdet. Grunnvannet fra tilsigsområdet har om lag samme mediantemperatur som sjøvannet, men en (naturlig) mindre årlig variasjon.

Grunnvannstemperaturen ved fronten av Bryggen påvirkes sterk av sjøvannstemperaturen. Medianverdiene til grunnvannet i miljøbrønner ved fronten ligger rundt medianverdien for sjøvannstemperaturen, med noe dempning avhengig av dybde og massenes hydrauliske strømningsmotstand.

Grunnvannstemperaturene langs spuntveggen påvirkes trolig også av sjøvannstemperaturen som trenger inn gjennom dreneringssystemet ved Royal Radisson SAS Blu hotellet. Grunnvannstemperaturene er derimot flere grader høyere enn man kan forvente ut fra en sjøvannspåvirkning av enten eller grunnvannet fra tilsigsområdet, samtidig som temperaturvariasjonene er mye mindre. De relativ høye grunnvannstemperaturene i MB2, 16, 17, 18, 22 og 23 må derfor i hovedsak forklares ut fra eksterne varmekilder, som for eksempel

oppvarming av bygg. Den romlige fordelingen av mediantemperaturene vist i vedlegg 8, tyder på at oppvarming av parkeringskjelleren under Royal Radisson SAS Blu Hotell trolig påvirker grunnvannstemperaturene over større deler av Bryggen.

En reduksjon av gjennomsnittstemperaturen og den årlige temperaturvariasjonen betraktes i utgangspunkt som gunstig for bevaringsforholdene. I samsvar med de beskrevne forhold er det derfor satt opp retningsgivende signalverdier for et utvalg av miljøbrønner. Målet med tiltakene er å redusere grunnvannstemperaturen rundt spuntveggen og under Bryggen til cirka 9 °C (median), med minst mulig variasjon. Dette er tilsvarende dagens målte temperaturer ved sjøfronten og den naturlige temperaturvariasjonen i grunnen bak Bryggen.

Temperatur i umettet sone måles per i dag 1 til 2 ganger per år, når det nødvendige utstyret er i Bergen. Det er planlagt installasjon av nye temperatursensorer ved lokalitet US1 høsten 2010. Sensorene kobles sammen med sensor for jordfukt og oksygen på en datalogger med automatisk overførsel av data.

### *Oksygen*

Oksygen er hittil målt ved hjelp av en automatisk logger (Matthiesen, 2005) som ble flyttet mellom utvalgte miljøbrønner i perioden 2003-2005 (inntil loggeren sluttet å virke). Den viste dynamiske forhold og sterkt fluktuerende oksygenkonsentrasjoner i miljøbrønnene ved spuntveggen, mens det var mer stabile og oksygenfrie forhold i andre miljøbrønner (Matthiesen, 2005). Det er videre målt oksygen i den umettede sonen i forbindelse med utgraving i 2006 ved US1, der det finnes enkelte punktmålinger fra perioden 2006-2010 (Matthiesen, 2010a).

Det er planlagt installasjon av permanente oksygensensorer på forskjellige dyp i den umettede sone ved US1, samt i de nærliggende miljøbrønnene MB7 og MB21 (høst -vinter, 2010). Sensorene vil bli koblet til en datalogger med automatisk overføring av data.

Det er et endelig mål å oppnå oksygenfrie forhold noen desimeter nede i den umettede sonen i hele område Bryggen. Det forventes at oksygennedtrengningen styres av fuktinnholdet i jorden, og at det derfor vil være mulig å definere en mer tydelig måloppnåelse ut fra oksygenmålingene. Fordi det per i dag er for kostbart å installere oksygenloggere i miljøbrønner, brukes det temperatur- og ledningsevne målere for å vurdere om forholdene er dynamiske eller stillestående. Hvis det kommer egnede oksygenloggere på markedet, vil det bli aktuelt med kontinuerlige oksygenmålinger i utvalgte miljøbrønner.

### *Vannkjemi*

Det er utført vannprøvetaking hvert 3-5. år i alle miljøbrønner ved Bryggen. Resultatene er beskrevet i Matthiesen (2008) og danner et godt utgangspunkt for overvåking av bevaringsforholdene ved gjennomføring av tiltak. Ut fra vannkjemien og (grove) estimater for strømningshastigheter er det mulig å estimere den aktuelle nedbrytningshastighet for kulturlagene i forskjellige områder på Bryggen (Matthiesen, 2010a og 2010b). Resultatene blir derimot aldri mer presise enn de estimerte strømningshastighetene. En romlig visualisering over referansesituasjonen (dagens situasjon) for bevaringsforhold er fremstilt i vedlegg 9. Det er vanskelig å definere signalverdier for vannkjemi alene, idet det alltid skal vurderes i sammenheng med strømningshastigheten for grunnvannet. Som et første anslag settes en signalverdi på 0,1 m/år, og at grunnvannet skal være fri for oksidasjonsmidlene oksygen, nitrat og sulfat.

### 3.1.3 Setninger

Multiconsult AS har på oppdrag av Stiftelsen Bryggen og Prosjekt Bryggen koordinert undersøkelser av grunnforholdene og setningsmålinger på Bryggen. En oppsummering av resultatene fra dette arbeidet som er gjennomført over periode fra 2000-2009 er presentert i et notat (Jensen, 2010). Foreliggende beskrivelse er basert på dette notatet, samt innspill fra J.A. Jensen ved Multiconsult AS.

Det er utført bevegelsesmålinger over en periode på 8,5 år over store deler av Verdenskulturarvområdet, og som dermed danner en meget god nåsituasjon. Ut fra måleresultatene er overvåkingsprogrammet i den perioden justert og utvidet flere steder. En oversikt over målepunktene for bevegelser av terreng og bygninger er fremstilt i vedlegg 10. Det er etablert nye overvåkingspunkter ved Schøttstuene i 2009. Her er det kun foretatt innmåling av målepunkt, slik at tolkning først vil kunne gjøres etter målerunder minimum ett år etter installasjon. Setningssituasjonen i dette området er derfor per i dag ukjent. Det er visuelle observasjoner på en ujevn setning ved Schøttstuene. Multiconsult har anbefalt å øke målefrekvensen for Schøttstuene til halvårlige målinger (vår og høst) og at tolkningen utføres årlig. Vedlegg 11 omfatter en romlig oversikt over den målte setningshastigheten (Multiconsult, 2010).

Resultatene etter 12 målerunder (total måletid 8,5 år) bekrefter inntrykket fra tidligere målerunder og flere tidligere målinger over lengre tid på fasaden i perioden 1944 – 2005 (kun orienterende resultater) og området nær Radisson SAS Blu hotellet (1979 – 2005) om at den største setningsutviklingen i dag skjer inne på Bryggen i Bredsgården/Bugården (inntil 5,7 mm/år), og ikke langs fasaden (1,5 – 2,4 mm/år). Inne på sørøstre del av Bryggestredet er setningshastigheten nede mot 0 mm/år. I forhold til stabilitet av bygningene er målet etter gjennomføring av tiltak å oppnå en jevn og sterk redusert setningshastighet over hele Bryggen og som er mindre enn 1 mm per år. Tabell 5 er en oversikt over alle setningsmålepunkter med målt bevegelsehastighet (nullsituasjon).

PUNKT	Okt 00	Mai 01	Okt 02	Apr 03	Apr 04	Mai 05	Jun 06	Jun 07	Jun 08	Mai 09
	<b>setningshastighet i mm/år</b>									
S1	-	-4,2	-0,4	-1,1	-2,7	-2,1	-0,9	-0,4		
S1 ny									-	-1,1
S2	-	-3,5	-1,1	-0,7	-3,1	-2,5	-1,9	-0,6	-2,4	0,0
S3	-	-2,8	-1,9	-0,2	-4,5	-1,1	-1,7			
S3 ny								-	-2,6	-0,5
S4	-	-2,6	-1,1	-2,6	-4,2	-3,0	0,7	-2,1	-1,7	-2,8
S5	-	-7,3	-0,6	-5,2	-4,0	-2,7	-0,1	-2,3	-1,1	-2,2
S6	-	-6,5	0,0	-0,9	-2,2	-2,0	-0,1	2,0	-2,7	2,9
S7	-	-7,0	1,0	-0,4	-1,1	-2,0	-0,6	0,6	-3,0	2,3
S8	-	-7,5	0,1	2,2	-1,9	-2,7	0,8	1,2	-1,9	-0,7
S9	-	-6,8	-0,3	0,9	-0,3	0,4	-3,4	2,5	-4,5	-1,3
S10	-	-1,0	-2,6	4,1	0,7	-3,6	-2,3	2,9	-5,9	3,3
S11				3,9	0,6	-1,6	0,7	0,0	-2,0	0,2
S12		-7,9	-0,8	-1,1	0,8	-5,4	-2,6	2,1	-7,1	2,5
S13	-	-12,9	-2,0	-6,3	-2,7	-5,9	-3,8	-2,6	-6,5	-2,7
S14	-	-12,2	-1,9	-3,7	-1,3	-4,4	0,1	-0,9	-2,3	-2,4
S15	-	-8,2	-2,0	-2,6	-2,6	-4,7	0,2	-2,2	-0,8	-2,1
S16			-	-0,9	3,1	-5,0	-2,7	4,2	-8,2	2,9
S17			-	-3,7	-4,7	-6,6	-4,5	-5,6	-4,7	-5,7
S18			-	0,2	-3,2	-2,7	1,5	-2,1	0,9	-2,7
S19			-	-0,4	-1,4	-2,3	1,7	-0,6	1,0	-2,1

PUNKT	Okt 00	Mai 01	Okt 02	Apr 03	Apr 04	Mai 05	Jun 06	Jun 07	Jun 08	Mai 09
	setningshastighet i mm/år									
S20			-	0,2	-2,4	-2,0	2,3	-2,2	1,2	-1,5
S21			-	-1,3	-4,3	-5,9	-2,3	-3,2	-4,2	-4,0
S22			-	-1,3	-3,2	-5,5	-2,3	-3,8	-2,5	-6,5
S23			-	2,4	-4,8	-4,9	-2,0	-3,4	-1,9	-4,9
S24			-	-4,6	-1,6	-2,3	-0,3	-2,0	-1,1	-4,3
S25			-	-3,3	-0,7	-1,3	1,5	-0,8	0,4	-2,0

**Tabell 5** Referanseverdier setningshastighet (grunnlagsmateriale: Multiconsult). Rød markerte tall overstiger setningshastighet av 1 mm per år.

Multiconsult anbefaler at måleprogrammet fortsetter med en måling pr. år (målinger om våren) og at tolkninger de neste årene blir utført etter hver målerunde. Det anbefales også at måleprogrammet på Bryggen blir utvidet for å kunne dokumentere effekten av framtidige tiltak i grunnen for å heve grunnvannstanden. Referansemålinger fra terrenget i Bryggeparken og Dreggsallmenningen mangler. Det anbefales å etablere nye målepunkter i dette området, se vedlegg 10.

### 3.2 FASE 2: ETABLERING AV TILTAK

En vurdering av forskjellige metoder for å heve grunnvannstanden, og dermed redusere nedbryting av kulturlag og setningsutviklingen, er beskrevet i en rapport fra Multiconsult (Jensen, 2009). Rapporten er kvalitetssikret/vurdert av SINTEF Byggforsk (Christensen og Danielsen, 2010). Multiconsult (Jensen, 2009) anbefaler å utrede (prosjektore) løsninger med borede vegger langs spuntveggen mot Schøttstuene og verdenskulturminnet. En økt lokal overvannshåndtering og kontrollert infiltrasjon av vann på Bryggen vil kunne være en del av løsningen for å stabilisere vannbalansen og for å unngå (midlertidige) grunnvannssenkninger. Konklusjonene til Multiconsult blir underbygget av SINTEF sine vurderinger. SINTEF peker imidlertid på enkelte usikkerhetsmomenter og anbefaler i tillegg videre utredning av infiltrasjonsalternativet.

Den detaljerte overvåkingsstrategien er avhengig av hvordan tettingen av spuntveggen praktisk skal gjennomføres. Trinnvis utførelse, materialbruk, midlertidige grunnvannsuttag, utskifting av pukk, bruk av leire og så videre vil ha følger for overvåking av grunnvannstand, prøvetaking og nødvendige analyser. Det er derfor viktig å bygge opp et fleksibelt overvåkingsystem som enkelt kan tilpasses registrerte endringer i grunnen som følge av tiltak. Overvåkingsplanen er basert på den anbefalte hovedløsningen beskrevet i rapporten til Multiconsult (Jensen, 2009), men tar hensyn til mulige tilpasninger eller utvidelser av overvåkingstiltak basert på gjennomføring av tiltak.

NGU har anbefalt å gjennomføre en trinnvis heving av dreneringsnivået under Royal Radisson SAS Blu hotellet i forkant av tiltaksprosjekteringen. Forslaget til (delvis) midlertidig heving av dreneringsnivået er ikke del av rapporten til Multiconsult (Jensen, 2009), men anbefales utført i forkant av videre prosjektering for bedre å kunne kartlegge og kvantifisere den hydrauliske forbindelsen mellom undergrunnen ved Bryggen og Radisson SAS Blu hotellet, samt eventuelle lokale lekkasjer i spuntveggen rundt hotellet. En detaljert beskrivelse av forslaget og overvåking er beskrevet i et brev fra NGU til Riksantikvaren (vedlegg 12). Et første hevingstrinn er utført høst 2010.

### 3.2.1 Vannkvantitet

#### *Grunnvannstand, -trykk og -strømning, jordfukt (mettet sone)*

Det anbefales å fortsette overvåking av grunnvannstand- og poretrykk i de miljøbrønnene som beskrevet under Fase 1, nullsituasjon, men med økt målefrekvensen i miljøbrønnene som måles manuelt. Avhengig av en trinnvis utførelse av tiltak, bør det vurderes å øke den manuelle eller automatiske målefrekvensen midlertidig i enkelte miljøbrønner i direkte nærhet til anleggsarbeidene. Dette vil kunne gjøres fjernstyrt i de miljøbrønnene som er utstyrt med datalogger koblet opp med e-Sense<sup>®</sup> systemet. Manuelle målinger i miljøbrønner som ikke er utstyrt med datalogger skal utføres ukentlig under gjennomføring av tiltak. Kontroll og tolkning av resultatene bør skje kontinuerlig i samsvar med framdriften i anleggsarbeidene. Måleverdiene tolkes i forhold til referanse- og signalverdiene i tabell 1.

Hvis grunnvannstanden under gjennomføring av tiltak synker under de gitte referanseverdiene, skal det umiddelbart utføres mottiltak for å unngå ytterligere grunnvannssenkning. Om grunnvannstrykket i dypere lag (MB17, 23) synker under de laveste referanseverdiene, skal mottiltak føres snarest, og senest innen 3 uker. Hvilke mottiltak skal utføres er avhengig av anleggsarbeidene, og bør beskrives i arbeidsbeskrivelsen til anleggsarbeidet. En kan tenke seg tiltak som for eksempel midlertidig infiltrasjon av vann, avslutning av midlertidig grunnvannsuttak for å kunne arbeide under tørre forhold, ytterlige plassering av spuntvegger eller injeksjon av tettemidler.

Endringer i grunnvannsstrømningen vurderes indirekte ved hjelp av ledningsevne- og temperaturloggere, og ut fra overvåking av grunnvannsstandene senest når anleggsarbeidet er avsluttet. Tolkning av strømningshastigheten brukes sammen med vannkjemien for å vurdere nedbrytningshastigheten i den mettede sonen. Det er satt opp en foreløpig signalverdi for strømning på 0,1 m/år.

Måling av jordfukt fortsettes som beskrevet under Fase 1, nullsituasjon. Under gjennomføring av tiltak sammenlignes måleverdiene jevnlig med referanseverdiene for jordfukt per sensor som gitt i tabell 3. Vanninnholdet skal ikke synke under den laveste referanseverdi over en periode lenger enn 3 uker. Det er satt opp foreløpige signalverdier for jordfukt (tabell 3), og en bør forvente at jordfuktandelen øker når grunnvannsnivået øker. Generelt er målet å øke jordfuktandelen så høyt som mulig.

#### *Dreneringssystemet*

Overvåking av vannstrømmen fra dreneringssystemet ved Royal Radisson SAS Blu hotellet fortsettes som beskrevet i avsnitt 3.1. Målet er å redusere netto utstrømning fra dreneringssystemet under gjennomføring av tiltaket. Den netto vannmengden som etter tiltakene vil strømme ut av dreneringssystemet vil etter forventing bli redusert kraftig. Etter at tiltakene er gjennomført vil vannmengden være avhengig av a) strømningskapasiteten gjennom dypere sprekkesystemer i fjellet under hotellet og b) strømning fra sørvest (Dregsallmenningen). Disse komponenter er foreløpig ukjent. Overvåking under (delvis) midlertidig heving av dreneringssystemet kan trolig gi et estimat på den forventede reduksjonen.

### 3.2.2 Vannkvalitet, oksygen og temperatur

#### *Temperatur*

Likt med overvåkingsprogrammet for grunnvannstand- og trykk i miljøbrønnene, fortsettes overvåking av temperatur som beskrevet under Fase 1, nullsituasjon. Måleresultatene tolkes i forhold til referanse- og signalverdiene gitt i tabell 4.

### *Oksygen*

Oksygen i den umettede sone overvåkes kontinuerlig som beskrevet under Fase 1, nullsituasjon. Måleresultatene tolkes i forhold til vanninnholdet, og sikter mot oksygenfrie forhold noen desimeter nede i jorden.

### *Vannkjemi*

Det anbefales å bytte eller supplere enkelte loggere av type TD-Diver<sup>®</sup> med loggere av type CTD-Diver<sup>®</sup> som i tillegg til trykk og temperatur også måler ledningsevne. Eksisterende loggere av type CTD-Diver<sup>®</sup> som pr. i dag er installert ved fronten av Bryggen kan brukes til dette formålet. Det anbefales også å plassere oksygenmålere i utvalgte miljøbrønner mens tiltakene gjennomføres, avhengig av om oksygenmålere kan skaffes. Både ledningsevne-, temperatur- og oksygenmålere brukes til å spore endringer i vannstrømmen.

I tillegg til automatisk overvåking av temperatur, ledningsevne og oksygen, bør det tas vannprøver fra miljøbrønner. Full grunnvannsanalyse fra alle miljøbrønner på Bryggen, som normalt utføres hver 3. til 5. år, anbefales utført rett før tiltakene settes i gang. En nærmere overvåking under og direkte etter gjennomføring av tiltak bør fokuseres på utvalgte parametre, hvor prøvetaking fokuserer på de miljøbrønnene som ligger nærmest spuntveggen. Utvalgte parametre og prøvfrekvens vil være avhengig av type tiltak, (trinnvis) utføring og eventuelt infiltrasjon av vann, men bør blant annet omfatte måling av nitrat, sulfat og klorid. Når stabile forhold er oppnådd foretas ny full grunnvannsanalyse for alle miljøbrønner.

Tolkning av grunnvannskjemi og -temperatur bør skje i sammenheng med tolkningen av grunnvannstand- og strømning mens tiltakene blir gjennomført. Det er ikke satt opp noe konkrete signalverdier for enkelte kjemiske parametre da de enkelte parametre bør tolkes i sammenheng med hverandre grunnet kjemiske reaksjoner.

### 3.2.3 Setninger

Multiconsult anbefaler at måleprogrammet for bevegelser av terreng og bygninger på Bryggen blir utvidet for å kunne dokumentere effekten av tiltak i grunnen for å heve grunnvannstanden. En oversikt over eksisterende og foreslåtte målepunktene er fremstilt i vedlegg 10.

I perioden tiltakene blir gjennomført anbefales det å øke målefrekvensen til månedlige målinger i alle overvåkingspunktene (tilsvarende det som det ble gjort under byggingen av hotellet). Det vil trolig være nødvendig med en periodisk høyere målefrekvens på enkelte målepunkter, avhengig av type tiltak og praktiske forhold under (trinnvis) utføring av tiltak.

Det anbefales å supplere måleprogrammet med tolkning av InSAR satellittmålinger, om disse dataene kan gjøres tilgjengelig. Sistnevnte metode er utprøvd av NGU i Oslo, og gir et meget lovende bilde av bevegelser over større områder (Dehls et al., 2004).

Målet er å redusere den ujevne setningsutviklingen i grunnen under Bugården, Bredsgården, Enhjørningsgården, langs Schøttstuene og nordvestre del av Bryggestredet, samt trolig under terrenget i Bryggeparken og Dreggsallmenningen. Tolkning av målinger skal skje direkte etter hver målekampanje. Setningshastigheten under og rett etter etablering av tiltak skal ikke øke over det som er fastslått som basislinje (nullsituasjon) og vist i tabell 5. Målet er å redusere setningshastigheten i alle målepunkter til et nivå som ikke overskrider 1 mm per år.

Hvis setningshastigheten på bygg eller terreng overskrider referanseverdiene, skal det umiddelbart settes i verk mottiltak for å unngå en videre økning av setningshastigheten. Disse tiltakene er avhengig av type anleggsarbeid og bør på forhånd beskrives i arbeids-

beskrivelsen. Mottiltak kan bestå av hydrologiske tiltak som for eksempel midlertidig kunstig infiltrasjon for å unngå grunnvannssenkning og videre setning av terreng, eller i ytterste konsekvens bygningstekniske tiltak for å sikre stabilitet på bygg. Tolkning av bevegelser på bygg samt eventuelle tiltak for å unngå skader skal alltid skje i samråd med spesialister på bygningsstabilitet ved Bryggen.

### **3.3 FASE 3: VEDLIKEHOLD**

#### **3.3.1 Vannkvantitet**

*Grunnvannstand-, -trykk og -strømning, jordfukt (mettet sone)*

Etter at tiltakene er gjennomført og grunnvannsnivået og -strømningen er innenfor den nedre og øvre signalverdien kan overvåking av grunnvannstand- og trykk reduseres til det nivået som beskrevet under Fase 1, nullsituasjon. Manuelle målinger utføres 2 ganger per år. Kontroll og tolkning av resultatene bør skje minimalt 1 gang per år. Måleverdiene tolkes i forhold til signalverdiene i tabell 1.

Måling av grunnvannsstrømning og jordfukt kan avsluttes etter at det har blitt etablert stasjonære, stabile forhold.

*Dreneringssystemet*

Det anbefales å fortsette måling av vannstrømmen i drens-systemet under Royal Radisson SAS Blu hotellet inntil den netto vannmengden som strømmer ut av systemet har nådd stasjonære strømningsforhold. Deretter kan målingene avsluttes.

#### **3.3.2 Vannkvalitet, oksygen og temperatur**

*Temperatur*

Overvåking av temperatur utføres parallelt med grunnvannstand og -trykk i de miljøbrønnene som er utstyrt med loggere. Måleresultatene tolkes i forhold til signalverdiene gitt i tabell 3.

*Oksygen*

Måling av oksygen i den umettede sone kan avsluttes når stabile, stasjonære forhold er oppnådd.

*Vannkjemi*

Det anbefales å utføre grunnvannsanalyse (iflg. Norsk Standard 9451:2009 §8.2) fra alle miljøbrønnene 2 år etter at tiltakene er gjennomført og stabile forhold har blitt oppnådd, og vurdere nedbrytningshastigheten i den mettede sone ut fra grunnvannskjemien og strømningshastigheten. Deretter anbefales å redusere prøvetaking og grunnvannsanalysene til et nærmere utvalg av miljøbrønner hvert 3-5. år.

#### **3.3.3 Setninger**

Det anbefales å fortsette overvåking av setningene en gang per år (om våren). Videre reduksjon av manuelle setningsmålingene er avhengig av eventuelt bruk av InSAR satellittmålinger og om måleresultatene tyder på at setningen har blitt mindre enn 1 mm/år.

## **4. KOSTNADER**

Tabell 6 og 7 viser kostnadsoverslag for overvåkingen, før under og etter at tiltakene er utført. Det understrekes at det ikke er innhentet tilbud fra leverandører.



<b>Kostnader 1. år (inkl. investeringskostnader)</b>	antall	enhetspris	kostnad
<i>Vannkvantitet</i>			
- måling grunnvannstand (manuell)	12	5.000	60.000
- avlesning og tolkning grunnvannstand (automatisk)	1	30.000	30.000
- strømningsmåler dreneringssystemet	1	75.000	75.000
- in-situ vannledningsevne målinger (strømningshastighet)	20	1.500	30.000
<i>Vannkvalitet</i>			
- prøvetaking (alle miljøbrønner)	1	50.000	50.000
- grunnvannsanalyse (Eurofins, full analyse)	1	135.000	135.000
- oksygenloggere (mettet sone)	2	32.500	65.000
- utstyr umettet sone (oksygenloggere, dataloggere osv.)	1	175.000	175.000
- analyser umettet sone (Eurofins)	1	35.000	35.000
- forberedelse, installasjon og tolkning	1	110.000	110.000
<i>Setningsmålinger</i>			
- manuelle setningsmålinger	12	7.500	90.000
- utvidelse målesystem, innmåling nye punkter	1	25.000	25.000
- tolkning og rapportering	12	5.000	60.000
Modellering grunnvannskjemi og hydrologi	1	100.000	100.000
Tolkning og rapportering	1	120.000	120.000
<b>Kostnader 1. år (inkl. investeringskostnader)</b>			<b>1.160.000</b>

Tabell 6 Kostnadsoverslag første år

<b>Kostnader oppfølgende år</b>	antall	enhetspris	kostnad
<i>Vannkvantitet</i>			
- måling grunnvannstand (manuell)	2	5.000	10.000
- avlesning og tolkning grunnvannstand (automatisk)	1	15.000	15.000
- tolkning av strømningshastighet for grunnvann	1	5.000	5.000
- avlesning og tolkning umettet sone	2	15.000	30.000
<i>Vannkvalitet</i>			
- prøvetaking (utvalg av miljøbrønner)	1	20.000	20.000
- grunnvannsanalyse (utvalg av miljøbrønner)	1	50.000	50.000
- tolkning og rapportering	1	30.000	30.000
<i>Setningsmålinger</i>			
- manuelle setningsmålinger (om våren)	1	15.000	15.000
- tolkning og rapportering (årlig)	1	10.000	10.000
Modellering grunnvannskjemi og hydrologi	1	50.000	50.000
<b>Kostnader oppfølgende år</b>			<b>235.000</b>

Tabell 7 Kostnadsoverslag oppfølgende år

## 5. REFERANSER

Christensen, S. & Danielsen, S.W. (2010). Bryggen i Bergen. Vurdering av Multiconsult's tiltaksbeskrivelse for tetting av grunnvannslekkasje. SINTEF rapport nr. SBF IN 10410, prosjekt 3C0644, 3. september 2010 (unntatt offentlighet).

Clymo, R.S. (1983). Peat. In (Gore, A.J.P.) *Mires: Swamp, bog, fenn and moor. General studies*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 159-224.

De Beer, H. (2008). Statusrapport grunnvannsovervåking og hydrogeologisk modellering ved Bryggen i Bergen, NGU-rapport 2008.069, 3. november 2008.

De Beer, H. & Matthiesen, H. (2008). Groundwater monitoring and modelling from an archaeological perspective: possibilities and challenges, Geological Survey of Norway Special Publication 11, 67-81.

Dehls, J.F. & Nordgulen, Ø. (2004). Evaluation of the use of PSInSAR for the monitoring of subsidence in Oslo region. NGU-rapport 2003.105, 6. februar 2004.

Jensen, J.A. et al. (2009). Bryggen i Bergen, grunnvannsprosjektet. Forprosjekt for tetting av grunnvannslekkasje. Tiltaksbeskrivelse. Multiconsult AS (oversendt fra Riksantikvaren til Vital, unntatt offentlighet).

Jensen, J.A. et al. (2010). Setningsmålinger på Bryggen i Bergen. Setninger og horisontalbevegelser til 2009. Notat Multiconsult AS, oppdr. nr 610694, 3. mars 2010.

Jerbol, A. (1990). Biokorrosion och skydd av trä i grundkonstruktion. Jerbol AB/KM gruppen, Göteborg.

Matthiesen, H. (2005). Oxygen, water table and temperature measurements in dipwells around Bryggen in Bergen. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation 12027-0002-1.

Matthiesen (2007) Preservation conditions above the groundwater level at the rear of Nordre Bredsgården, Bryggen in Bergen. Results from MB21 and testpit from 2006. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation 10832-0011.

Matthiesen, H. (2008). Detailed chemical analyses of groundwater as a tool for monitoring urban archaeological deposits: results from Bryggen in Bergen. *Journal of Archaeological Science* 35, 1378-1388.

Matthiesen, H. (2010a). Preservation conditions in the area bordering the sheet piling at Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB15, 30, 31, 32 and 33 installed in 2009. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation 11031041.

Matthiesen, H. (2010b). Seawater intrusion beneath the quayfront buildings of Bryggen, Bergen: Results from new dipwells MB 28 and MB 29, and from repeated measurements of chloride and sulphate in quayfront dipwells during 2009. Copenhagen, National Museum of Denmark, Department of Conservation 1829-17.

Nielsen, J.Å. (2010). Bryggen i Bergen: Overvåking av setning i grunn og bevegelser i bygninger. Rapport nr. 15. Målinger utført 2010. Anko AS, 27. november 2010.

## Parkeringskjeller, grunnvann, setninger og tap av kulturlag på Bryggen

### Hvordan henger det sammen?

Setninger og tap av kulturlag ("kulturlag" er betegnelsen på alle jordlag skapt som følge av menneskelig aktivitet) er et alvorlig problem som truer kulturmiljøet ved Bryggen i Bergen. I perioden 2001-2010 har det blitt utført flere undersøkelser for å kartlegge problematikken og årsakssammenhengene. Undersøkelsene har påvist at området med hurtigste setninger og dårlig bevaringstilstand i kulturlagene har en entydig sammenheng med området med lave grunnvannstander. Det er et velkjent geoteknisk fenomen at grunnvannssenkning kan forårsake setninger av grunnen. Størrelse og hastighet på setningene er avhengig av grunnens sammen-setning og evne til å lede grunnvann. Ved Bryggen består undergrunnen av opp til 10 m tykke kulturlag – de fleste med høyt organisk innhold – med en forholdsvis lav vannledningsevne. Når grunnvannsnivået synker, blir lagene i og under det drenerte området presset sammen fordi vannets oppdriften på det drenerte materialet forsvinner. I tillegg øker tilførselen av luft i lagene, som fører til en nedbryting (oksidasjon) av de organiske bestanddelene i kulturlagene. Dermed forsvinner kulturlagene bokstavelig talt som CO<sub>2</sub> i "løse lufta", med ytterligere setninger som følge.

Grunnvannstanden i kulturlagene under Bryggen er styrt av topografi, nedbør, tidevannet og vannlednings-evnen i naturlige og kunstig tilførte løsmasser under og rundt kulturlagene, samt sprekkesystemer i fjellet under Bryggen. I tillegg blir vannbalansen påvirket av installasjoner i grunnen slik som kloakk-, vann- og dreneringsledninger, spuntvegger samt andre underjordiske anlegg. Fordi vannledningsevnen til kulturlagene stort sett er liten, vil det ved endring i dreneringsforholdene ta forholdsvis lang tid (flere år), før grunnvannstanden kommer i en ny balanse.

Før utgraving av ny byggetomt etter brannen i 1955, som ødela nesten halvparten av bygningene i den nordlige delen av Bryggenområdet, besto grunnen under branntomta av kulturlag med en generelt lav vannledningsevne, lik den vi finner i dag under verdensarvstedet Bryggen. Grunnvannstandene i disse kulturlagene var trolig på samme nivå som i dag registreres på østsiden av Bryggen. Dette kommer fram av poretrykkmålinger utført i 1979 i forbindelse med utgravingen av byggegropa og den etterfølgende arkeologiske dokumentasjonen utført av Asbjørn Herteig. Det fremkommer i denne beskrivelsen at de fleste gravde brønner befant seg langs nordøstsiden av branntomta og midt på Bryggen, noe som også tyder på en relativ høy grunnvannstand. Det ble også i forbindelse med utgravingene av branntomten i perioden 1955-1979 registrert meget godt bevarte kulturlag.

Etter den arkeologiske utgravingen 1979 ble det bygget et hotell på branntomta. I forbindelse med dette arbeidet ble det satt ned en spuntvegg rundt byggegrop for å stabilisere omliggende masser samt å redusere innstrømning av grunnvann. Resterende kulturlag ble fjernet ned til cirka 4 meter under havnivå. Kulturlagene som lå dypere enn dette nivået langs vestsiden av byggegropen, ble ikke fullstendig fjernet grunnet for høyt vanntrykk fra Vågen. Byggegroppen ble fylt med minst 0,5 m grov pukk og grus, før betonggulvet til parkeringskjelleren under hotellet ble støpt. For å unngå et for høyt vanntrykk under kjelleren, ble det anlagt et dreneringssystem rundt kjelleren. Dreneringssystemet ble konstruert slik at vanntrykket under normale forhold ikke skulle overstige +0,45 meter over havnivå (moh.), og +1,0 moh. ved springflo. Vannet i dreneringssystemet renner med fritt fall til det kommunale

#### FAKTA BRYGGEN

- Det samlede gjenværende kulturlagsvolumet på Bryggen<sup>1</sup> er på maksimalt 130 000 m<sup>3</sup>, men det kan være så lavt som 100 000 m<sup>3</sup>. Det totale volumet til gjenværende organisk-rike kulturlag i området anslås til fra ca. 70 000 m<sup>3</sup> til ca. 90 000 m<sup>3</sup>. (<sup>1</sup> - fra Nikolaikirkeallmenning til og med Dreggsallmenning).
- Det er blitt anlagt 33 miljøbrønner og 1 flernivåbrønn innenfor Bryggen-området (medregnet Dreggen, Schøtstuene og Øvregaten 19). Av disse ligger 7 langs spuntveggen rundt hotelltomten.
- Det er fjernet et kulturlagsvolum på ca. 2 m<sup>3</sup> i forbindelse med grunnboring for de 34 miljøbrønnene, noe som utgjør 0,0015% av områdets totale kulturlagsvolum.
- Omtrent 50 000 m<sup>3</sup> masse er tatt ut ved utgraving, blant annet fra SAS-hotelltomten, Bryggens Museum, nedkjøringen i Dreggsallmenning til garasjen under hotellet, og byggegropen for Schøtstuene.
- Årlig forsvinner det opptil 30 m<sup>3</sup> med organisk kulturlag i Bryggen-området, primært som følge av grunnvannssenkning.
- Sammenligning av 2 miljøbrønnboringer tett ved spuntveggen (den ene foretatt i 2005, den andre i 2009) viste en forringelse av bevaringstilstand i kulturlag beliggende under grunnvannsspeilet.
- Daglig fjerner dreneringssystemet for SAS-hotellet i gjennomsnitt anslagsvis 25 - 75 m<sup>3</sup> grunnvann fra det omkringliggende området. Mengden varierer med været og tidevannsnivået, og kan i perioder være mer enn 100 m<sup>3</sup>.

Kilde: Riksantikvaren

## Vedlegg 1 Sammendrag undersøkelsesresultater Bryggen i Bergen

overvannsystemet. Dreneringsnivået ble imidlertid i 2008 målt til å ligge lavere (cirka havnivå), noe som trolig skyldes setninger i resterende kulturlag på sørvest siden under parkeringskjelleren.

I de siste syv årene har det i regi av Riksantikvaren blitt etablert et overvåkingssystem bestående av miljøbrønner og som i dag blant annet brukes til å måle grunnvannsstanden i, under og rundt kulturlagene, samt innenfor spuntveggen i den tidligere byggegropen. Overvåkingssystemet gir et godt tredimensjonalt bilde av grunnvannsstrømningen under Bryggen og i nærområdet. Målingene utføres overveiende automatisk med hjelp av dataloggere som måler både trykk og temperatur hver time. I tillegg overvåkes bevegelser på bygg og terreng jevnlig.

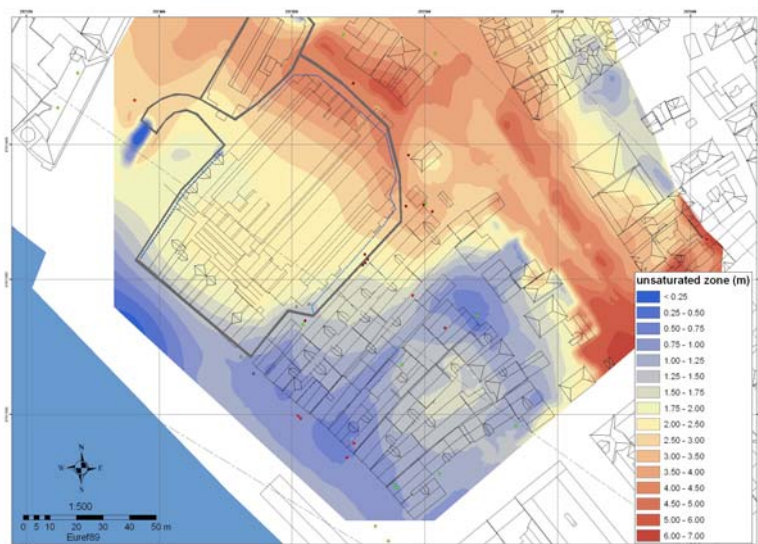
Målingene av grunnvannstanden gir også et klart bilde av strømningsforholdene ved Bryggen. En grunnvannsmodell som ble laget for å øke forståelsen av de komplekse hydrogeologiske forholdene, simulerer vannstrømmen ved Bryggen og nærområdet og er i god samsvar med de utførte målingene. Figur 1 viser grunnvannskotekartet som tilsvarende de årlige laveste målte grunnvannsnivåene i miljøbrønnene (i perioden 2006-2009). På grunn av den høye vannledningsevnen i de grove pukk- og grusmassene under parkeringskjelleren til hotellet, er grunnvannspeilet her nærmest flatt, og likt med gjennomsnittlig havnivå.

Målingene viser at grunnvannskotene følger spuntveggenes utforming, noe som bare kan forklares ved at det er en tilstrekkelig stor lekkasje mellom hotellets drenerte område innenfor spuntveggen og omgivelsene. Denne lekkasjen er så stor at det naturlige tilsiget av grunnvann fra nordøst ikke er tilstrekkelig for å opprettholde en naturlig høy grunnvannstand i området utenfor spuntveggen. Dette vises tydelig ved at grunnvannsnivået i kulturlagene rett utenfor spuntveggen i dag er nærmest likt med grunnvannsnivået innenfor spuntveggen. Strømning til det drenerte området skjer trolig både gjennom spuntveggen og under spuntveggen gjennom godt vannførende finsandige strandavsetninger og fjellsprekker. Det siste er bekreftet med langvarige målinger i to miljøbrønner under kulturlagene. Figur 2 viser et kart av dypet fra terrenget til grunnvannsnivået (den umettede sonen). Kartet viser at det registreres særlig lave grunnvannsnivåer ved Schøtstuene og i nordre del av Bugården. Det er også i disse områdene at de høyeste setningshastighetene blir målt i dag, og hvor bevaringstilstanden til kulturlagene er funnet å være blant de dårligste på Bryggen.

For å redusere setninger og tap av kulturlag er det nødvendig å heve grunnvannsnivået gjennom å stoppe lekkasjen og etablere et fysisk og hydrologisk skille mellom hotellet og omgivelsene. Dette kan gjøres ved å etablere en ny tett vegg langs den eksisterende spuntveggen, eventuelt i kombinasjon med (naturlig) infiltrasjon av vann til undergrunnen for å øke tilsiget.

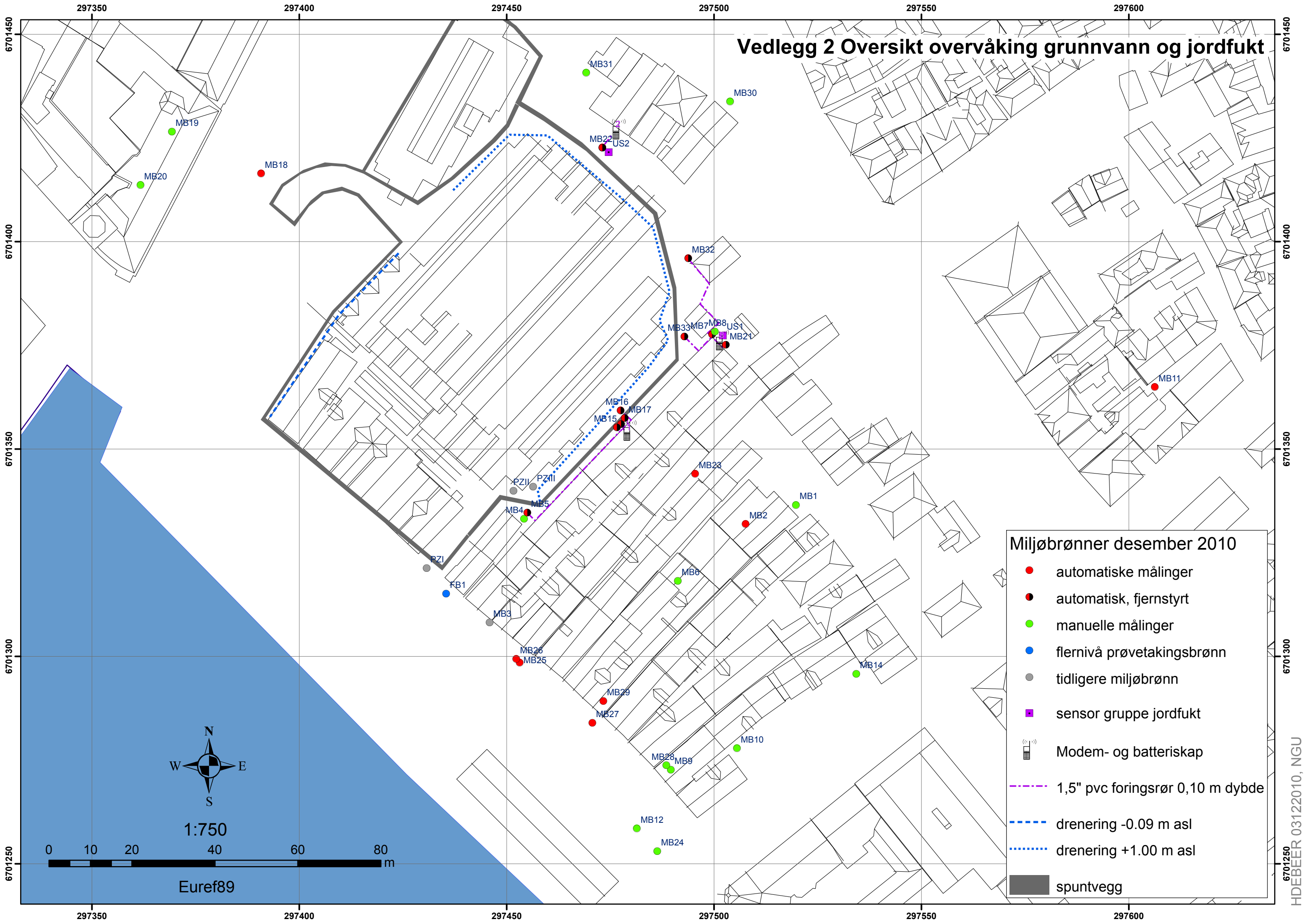


Figur 1 Grunnvannskotekart, årlig laveste (moh.). Kilde: NGU



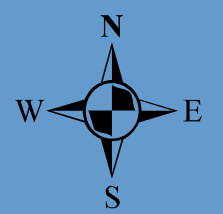
Figur 2 Kotekart over dybde til grunnvannet fra terrenget (m). Kilde: NGU

# Vedlegg 2 Oversikt overvåking grunnvann og jordfukt



### Miljøbrønner desember 2010

- automatisk målinger
- automatisk, fjernstyrt
- manuelle målinger
- flernivå prøvetakingsbrønn
- tidligere miljøbrønn
- sensor gruppe jordfukt
- ☎ Modem- og batteriskap
- 1,5" pvc foringsrør 0,10 m dybde
- - - drenering -0.09 m asl
- ..... drenering +1.00 m asl
- spuntvegg



1:750



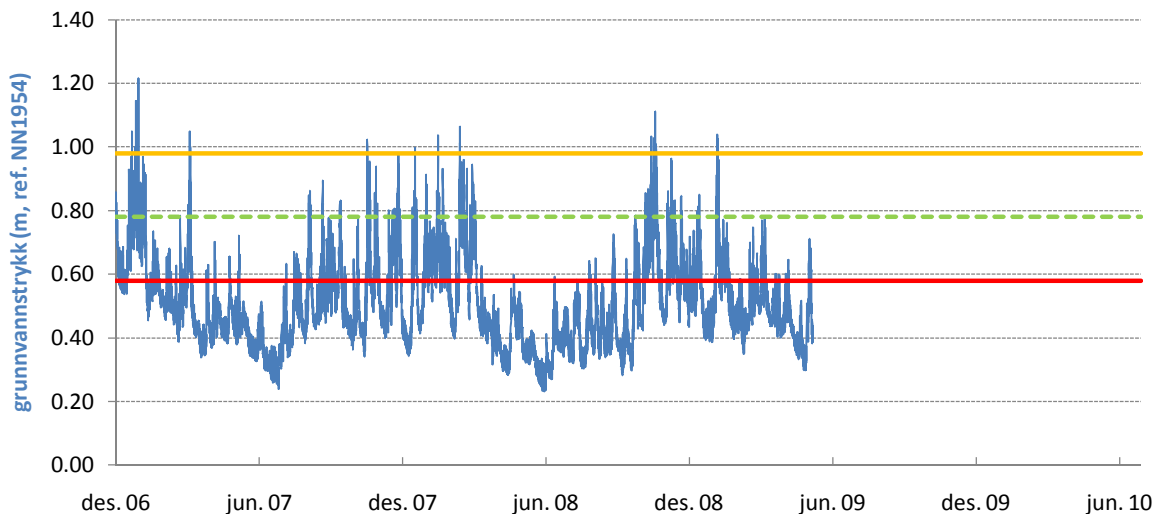
Euref89

### Vedlegg 3 Oversikt egenskaper miljøbrønner og målere i umettet sone.

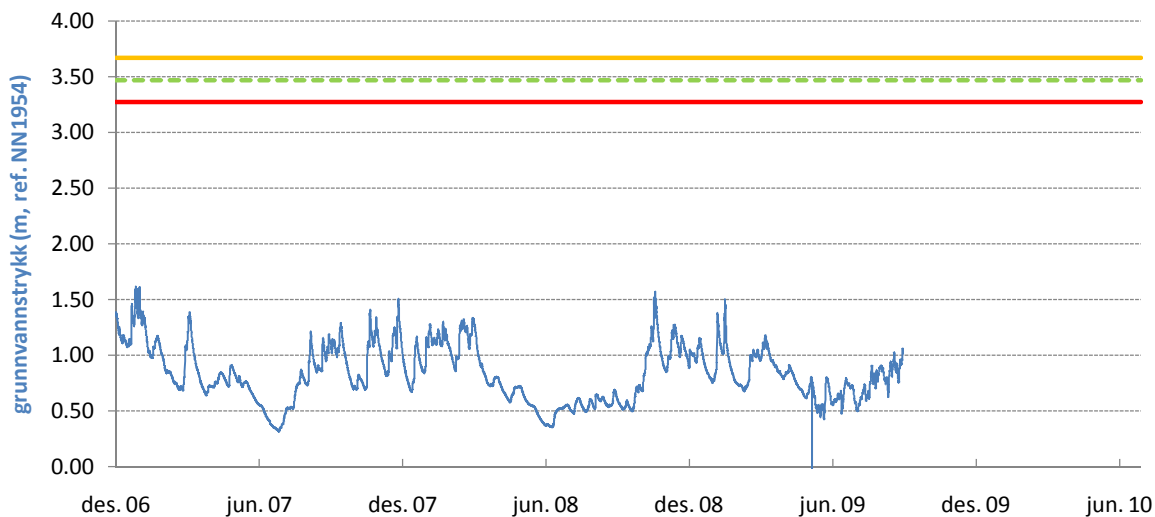
Lokalitet	X	Y	brønnedyp	terrengnivå	filterlengde	filterbunn	filtertopp
	Euref89, UTM sone32		m	moh (NN1954)	m	moh (NN1954)	moh (NN1954)
FB1	297435.44	6701315.10		1.00			
MB1	297519.75	6701336.51	3.88	2.78	3.00	-1.10	1.90
MB2	297507.63	6701331.95	6.92	2.18	3.00	-4.80	-1.80
MB3	297445.90	6701308.18	5.50	0.92	4.50	-4.58	-0.08
MB4	297454.21	6701333.20	8.50	1.62	2.00	-6.88	-4.88
MB5	297454.99	6701334.66	4.00	1.67	2.00	-2.30	-0.30
MB6	297491.30	6701318.16	7.00	1.62	3.00	-5.38	-2.38
MB7	297499.57	6701377.66	5.60	4.21	2.00	-1.54	0.46
MB8	297500.20	6701378.33	4.00	4.26	2.00	0.26	2.26
MB9	297489.59	6701272.66	3.00	1.65	2.00	-1.35	0.65
MB10	297505.55	6701277.86	8.00	1.42	3.00	-6.58	-3.58
MB11	297606.30	6701364.95	7.20	16.91	5.00	9.81	14.81
MB12	297481.39	6701258.54	9.57	1.14	5.00	-8.45	-3.45
MB13	297477.58	6701356.03	7.63	1.94	5.00	-5.95	-0.95
MB14	297534.30	6701295.77		2.28	2.00	-2.74	-0.74
MB15	297476.61	6701355.22	8.00	1.91	1.00	-6.09	-5.09
MB16	297477.48	6701359.29	7.40	2.14	1.00	-5.26	-4.26
MB17	297478.50	6701357.44	12.62	2.13	1.00	-10.49	-9.49
MB18	297390.82	6701416.42	5.48	2.90	1.00	-2.58	-1.58
MB19	297369.31	6701426.53		2.54	1.00	-3.90	-2.90
MB20	297361.72	6701413.66		1.24	1.00	-2.65	-1.65
MB21	297502.87	6701375.14	3.50	4.11	1.00	0.61	1.61
MB22	297473.10	6701422.67	6.55	4.67	1.00	-1.88	-0.88
MB22	297473.10	6701422.67	6.55	4.67	1.00	-1.88	-0.88
MB23	297495.44	6701344.01	11.10	1.98	2.00	-9.12	-7.12
MB24	297486.34	6701253.00	4.68	1.22	1.00	-3.46	-2.46
MB25	297453.17	6701298.50	8.96	1.00	1.00	-7.96	-6.96
MB26	297452.34	6701299.37	5.83	0.97	1.00	-4.87	-3.87
MB27	297470.67	6701283.98	6.00	0.93	1.00	-5.07	-4.07
MB28	297488.50	6701273.72	4.03	1.79	1.00	-2.22	-1.22
MB29	297473.32	6701289.21	4.86	0.88	1.00	-3.98	-2.98
MB30	297503.90	6701433.79	4.37	7.89	1.00	3.52	4.52
MB31	297469.21	6701440.71	5.00	6.65	1.00	1.65	2.65
MB32	297493.80	6701395.98	4.50	4.54	1.00	1.04	2.04
MB33	297492.89	6701377.10	5.82	3.33	1.00	-2.49	-1.49
PZI	297430.73	6701321.27	? 5.00	1.23			
PZII	297451.65	6701339.92	? 5.00	1.77			
PZIII	297456.41	6701340.86	? 5.00	1.73			

Umettet sone	X	Y	sensordyp	sensordyp	terrengnivå
	Euref89, UTM sone32		m	moh (NN1954)	moh (NN1954)
US1	297502.14	6701377.40	0.84	3.27	4.11
US1	297502.14	6701377.40	1.30	2.81	4.11
US1	297502.14	6701377.40	1.68	2.43	4.11
US1	297502.14	6701377.40	2.13	1.98	4.11

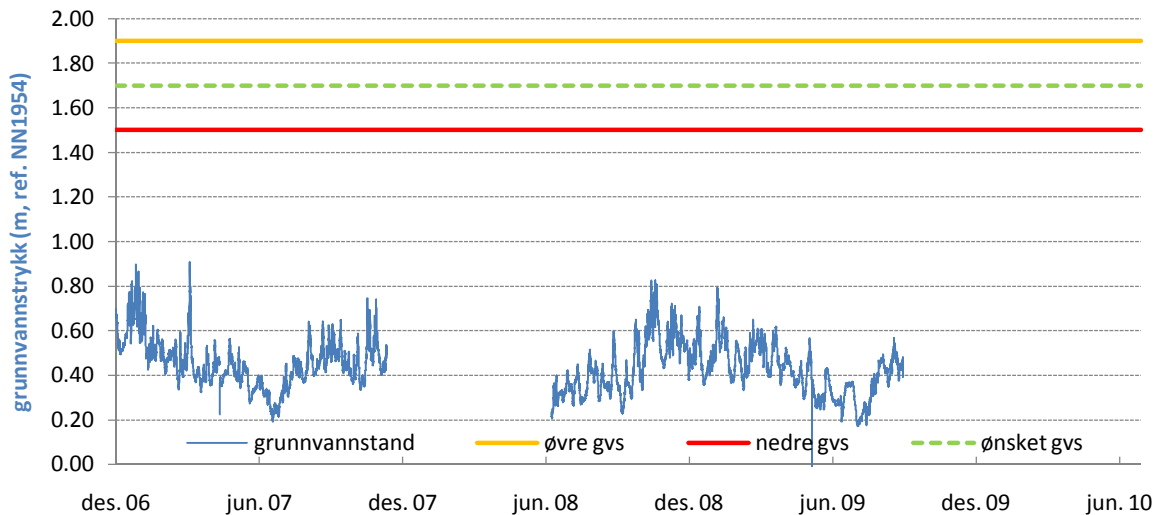
### MB23



### MB22

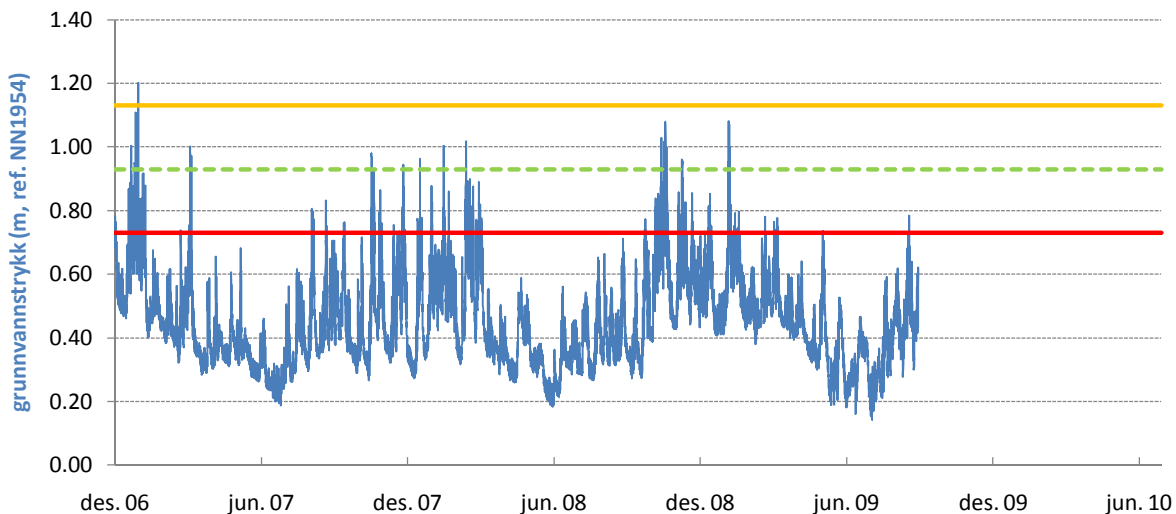


### MB18

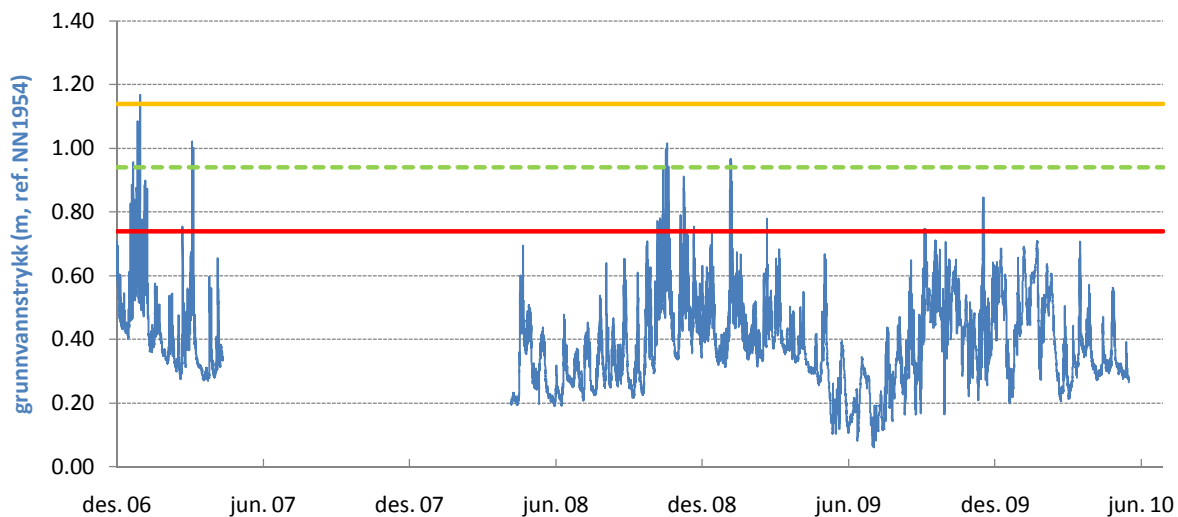




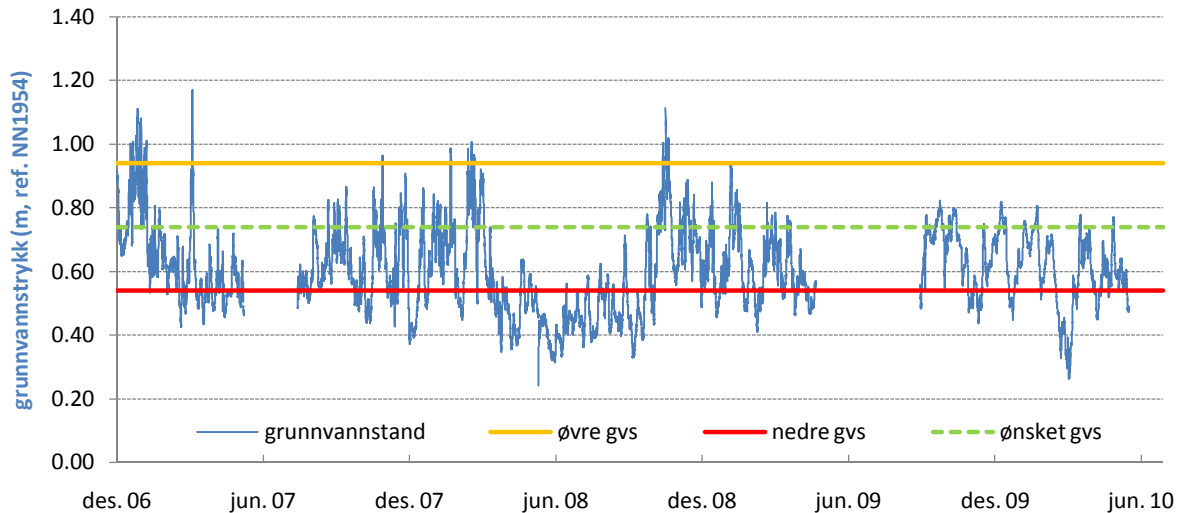
### MB17



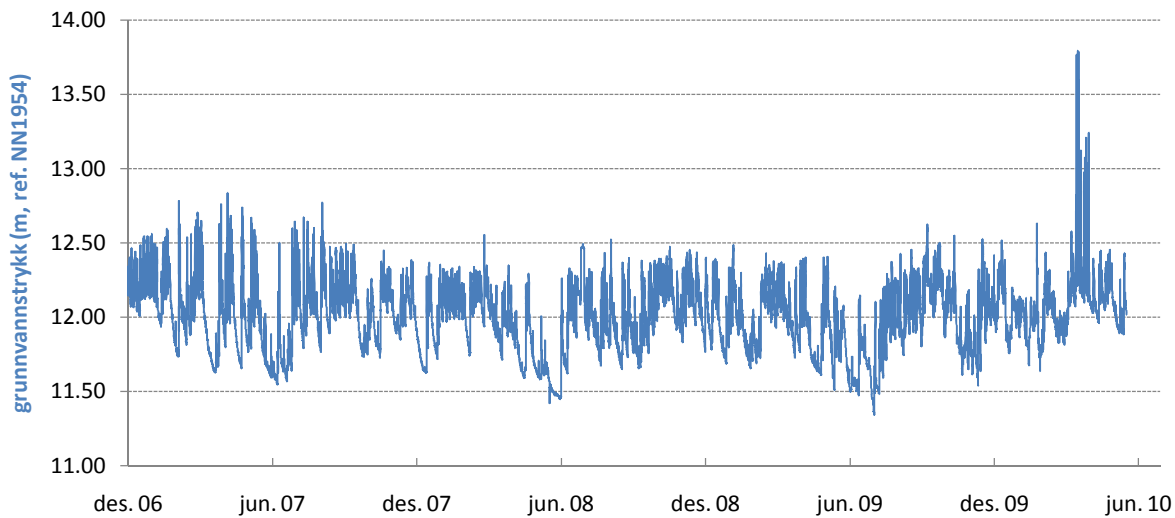
### MB16



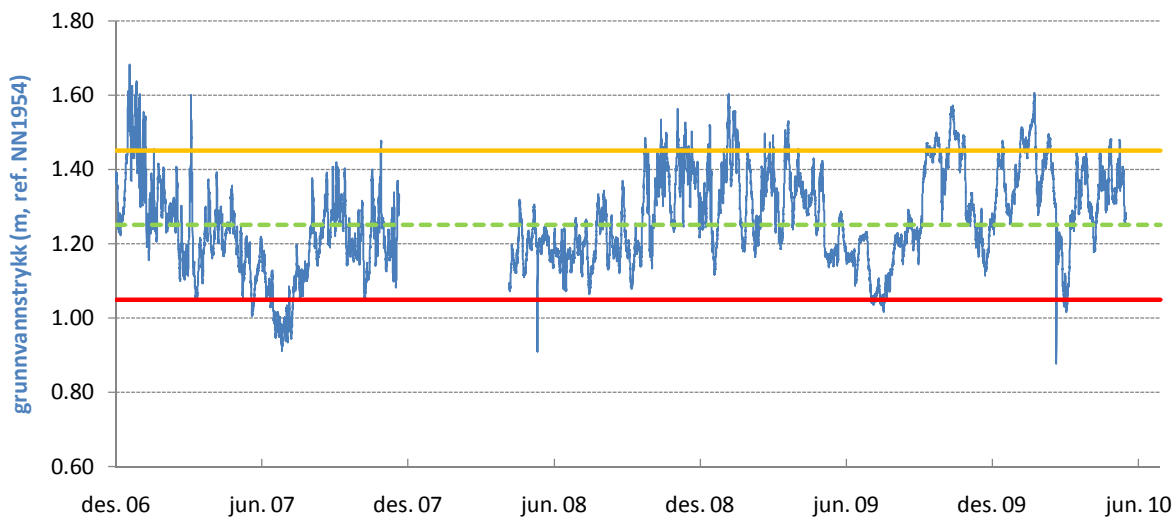
### MB13



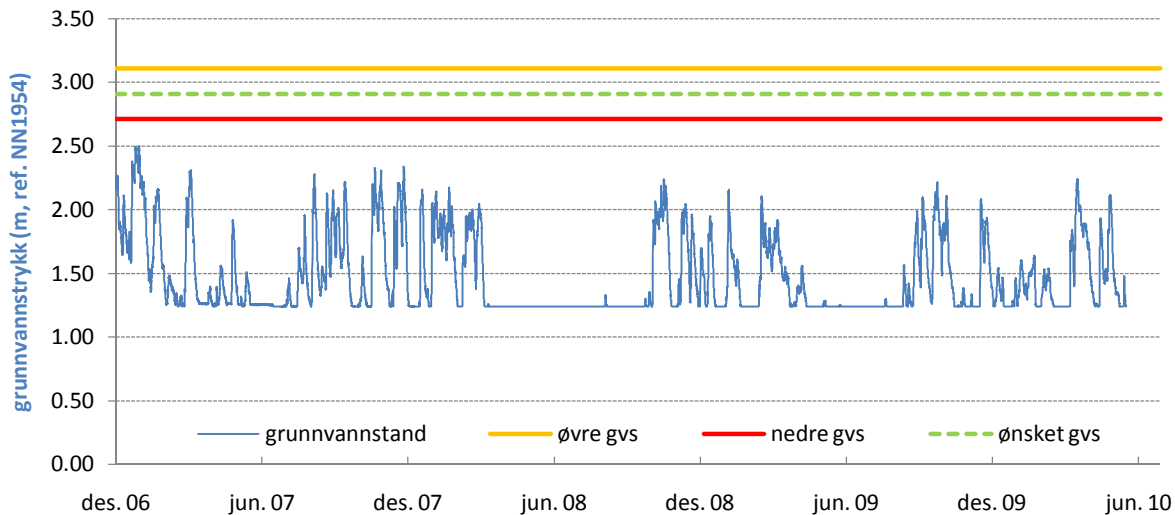
### MB11



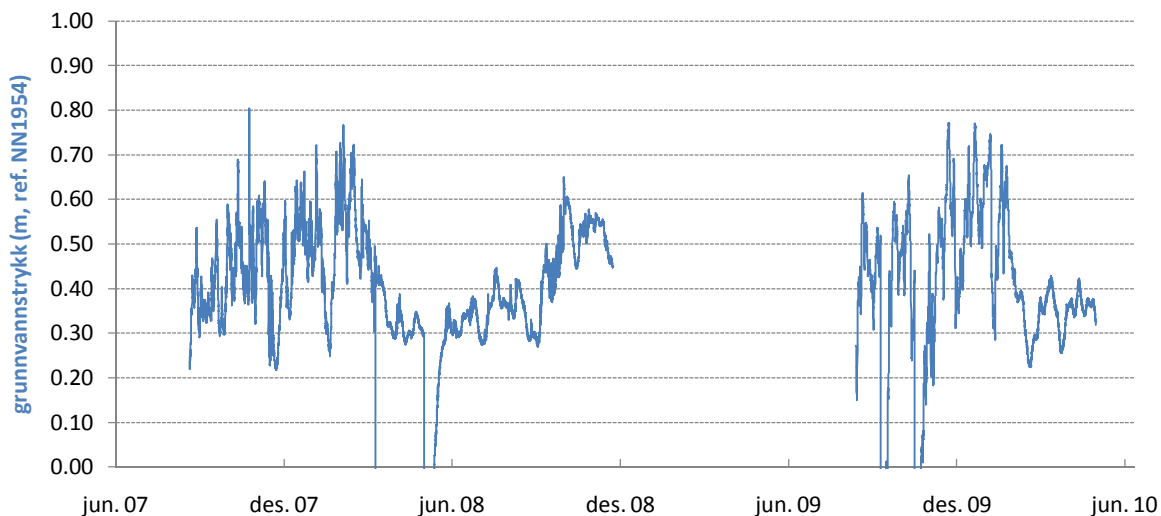
### MB2



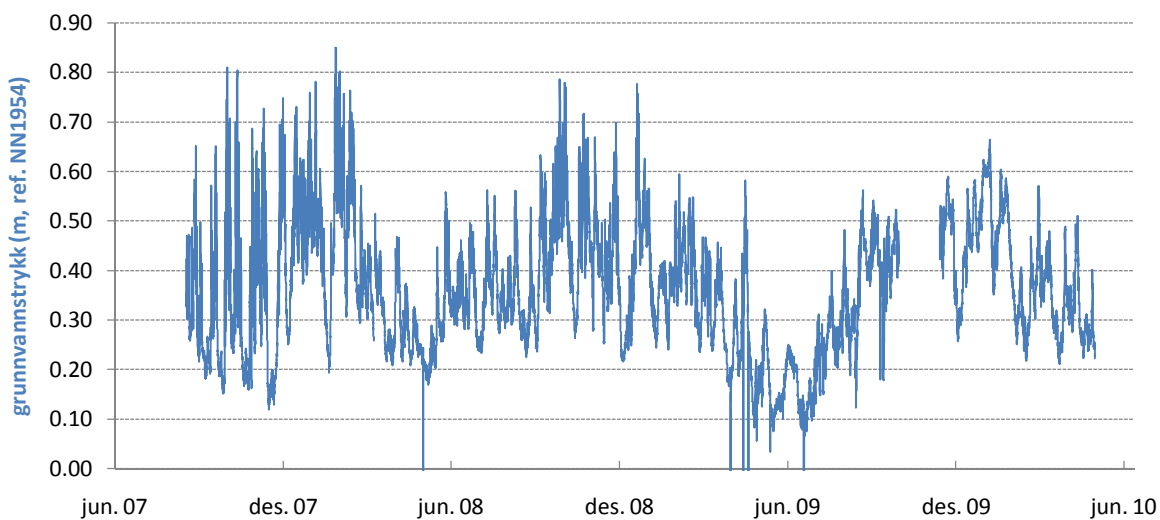
### MB21



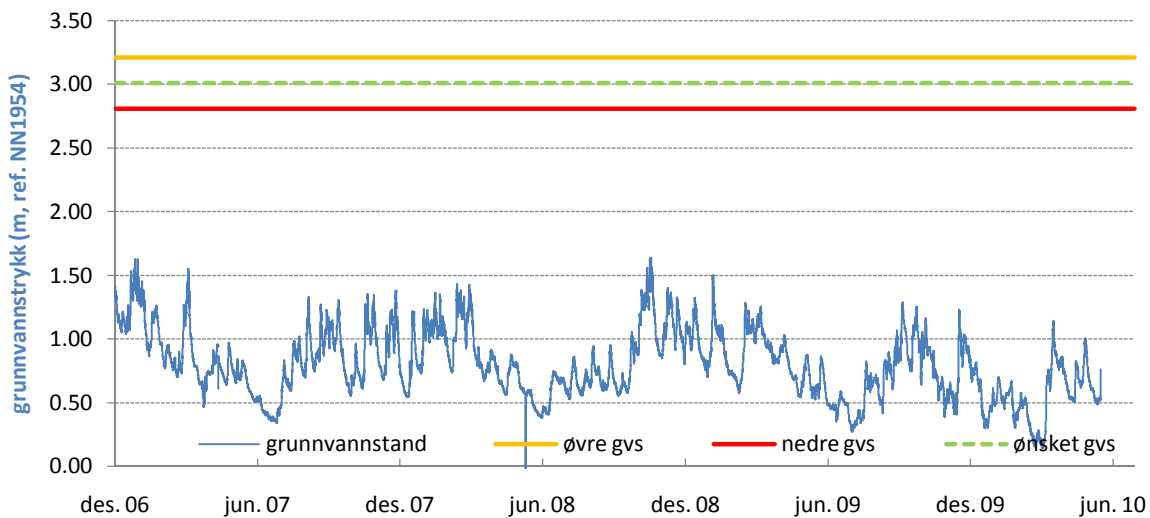
**MB25**



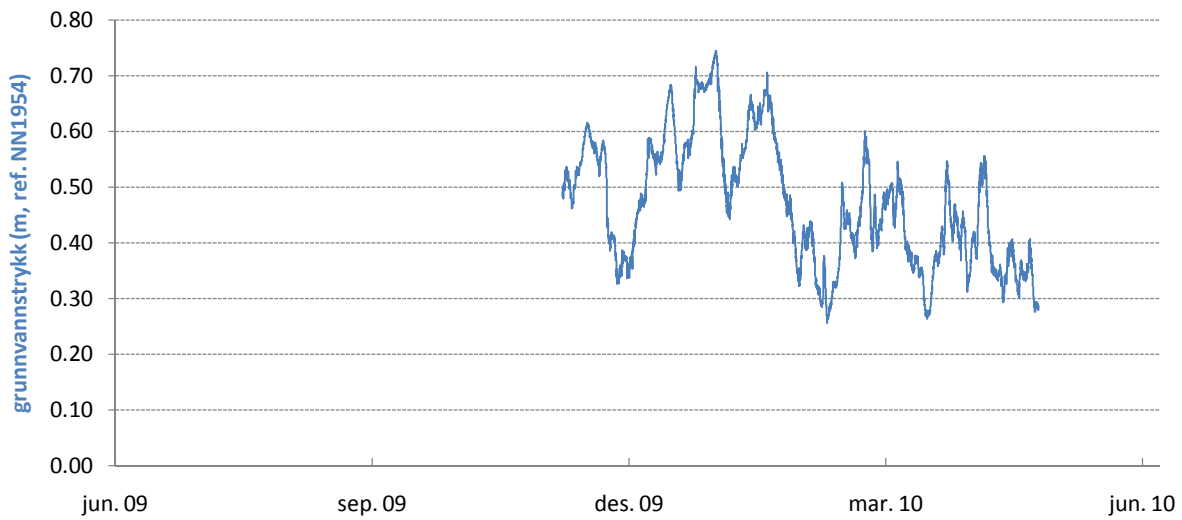
**MB26**



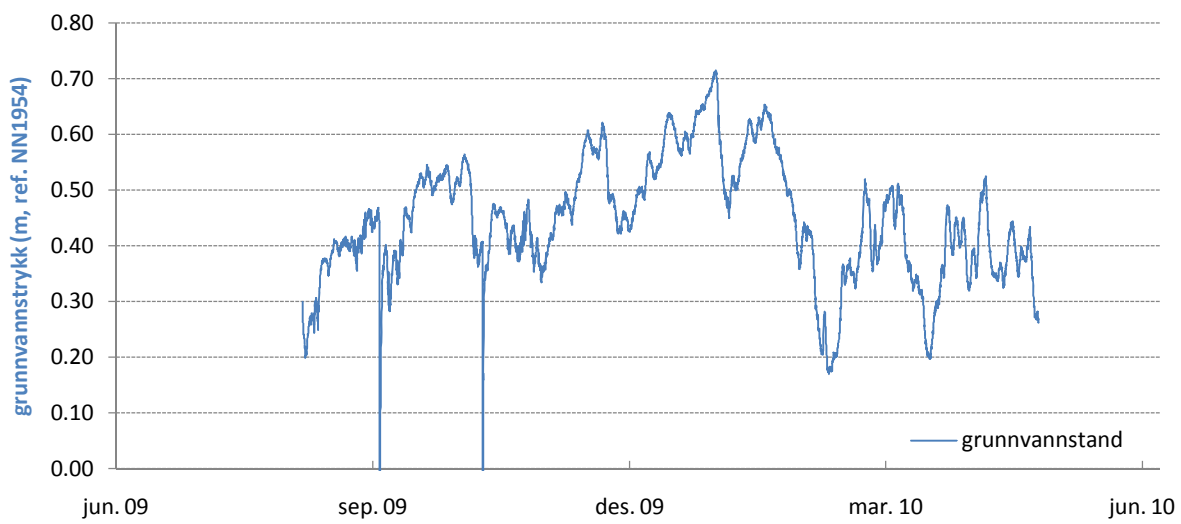
**MB7**



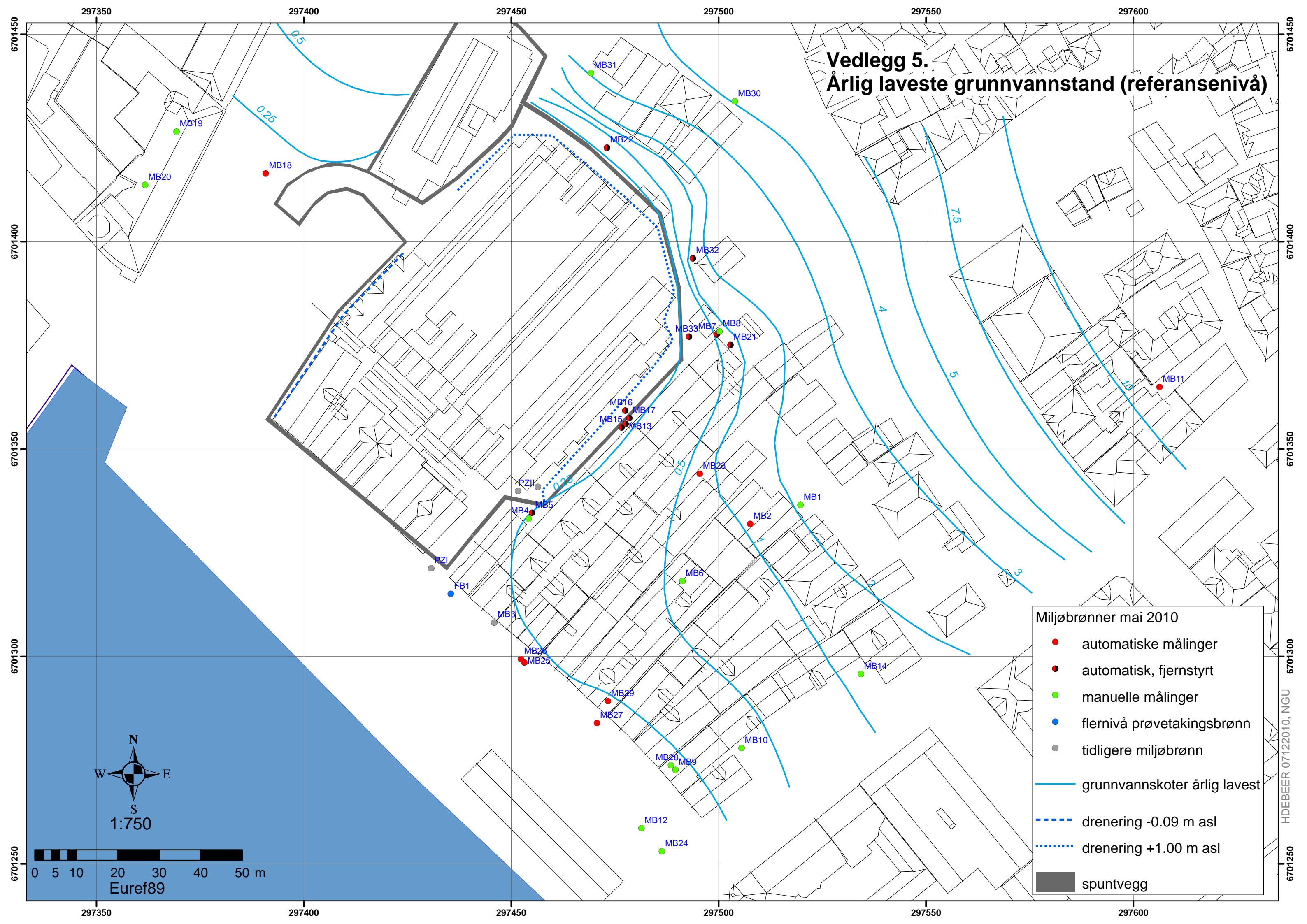
### MB29



### MB27



# Vedlegg 5. Årlig laveste grunnvannstand (referansenivå)

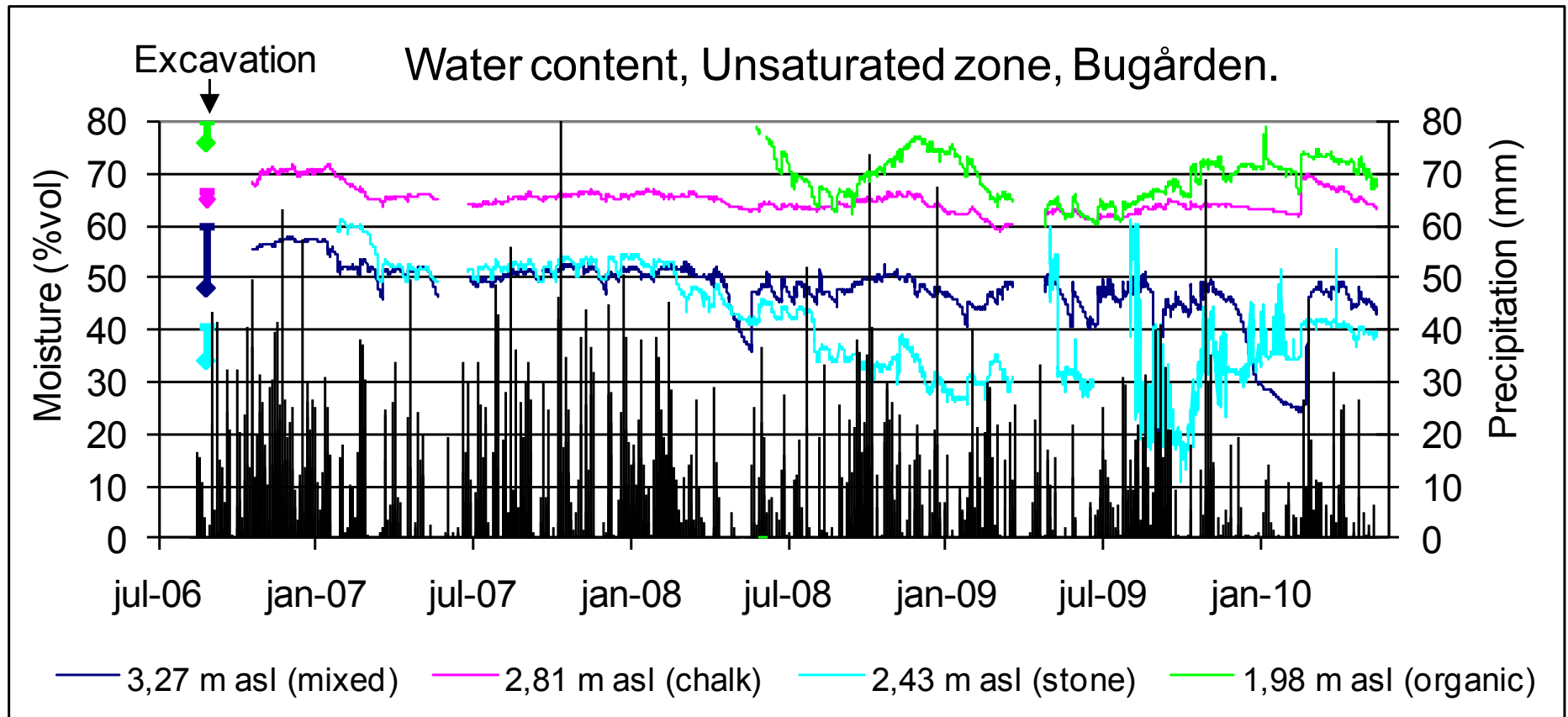


- Miljøbrønner mai 2010
- automatiske målinger
  - automatisk, fjernstyrt
  - manuelle målinger
  - flernivå prøvetakingsbrønn
  - tidligere miljøbrønn
  - grunnvannskoter årlig lavest
  - - - drenering -0.09 m asl
  - ..... drenering +1.00 m asl
  - spuntvegg

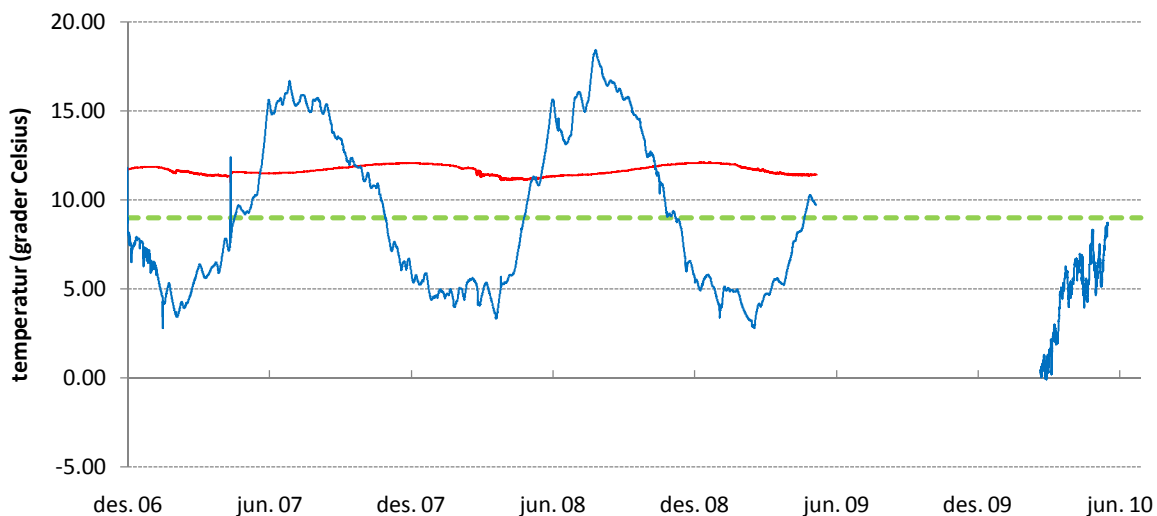


HDEBEER 07122010, NGU

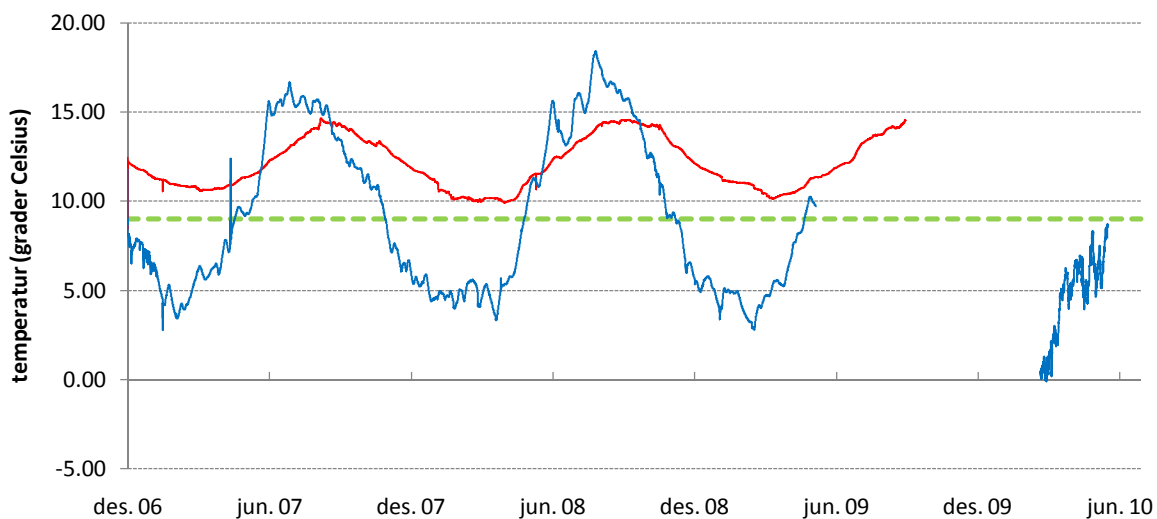
Vedlegg 6: Måling af jordfukt ved US1 (mellem MB7 og MB21)



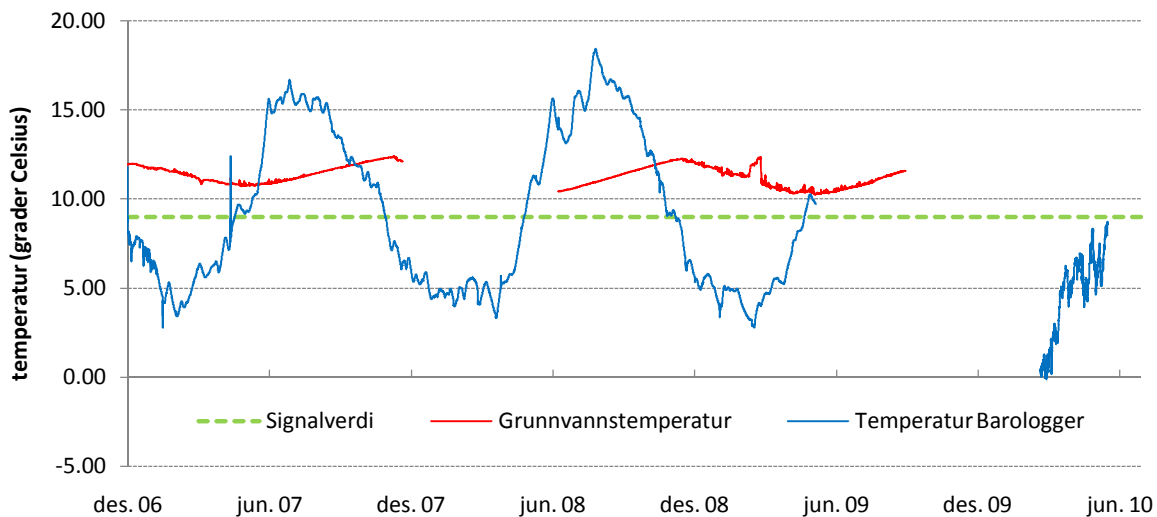
**MB23**



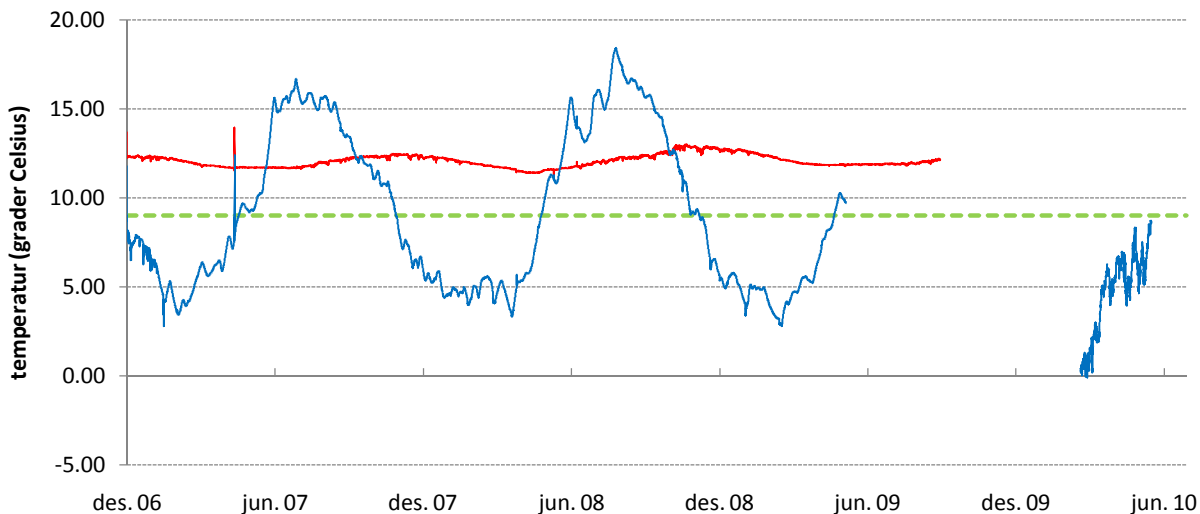
**MB22**



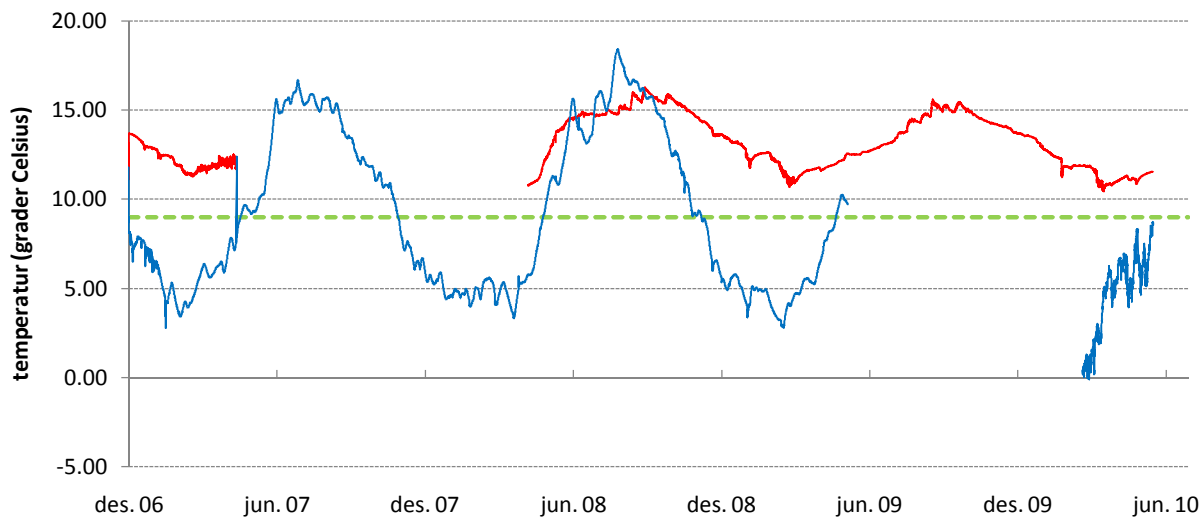
**MB18**



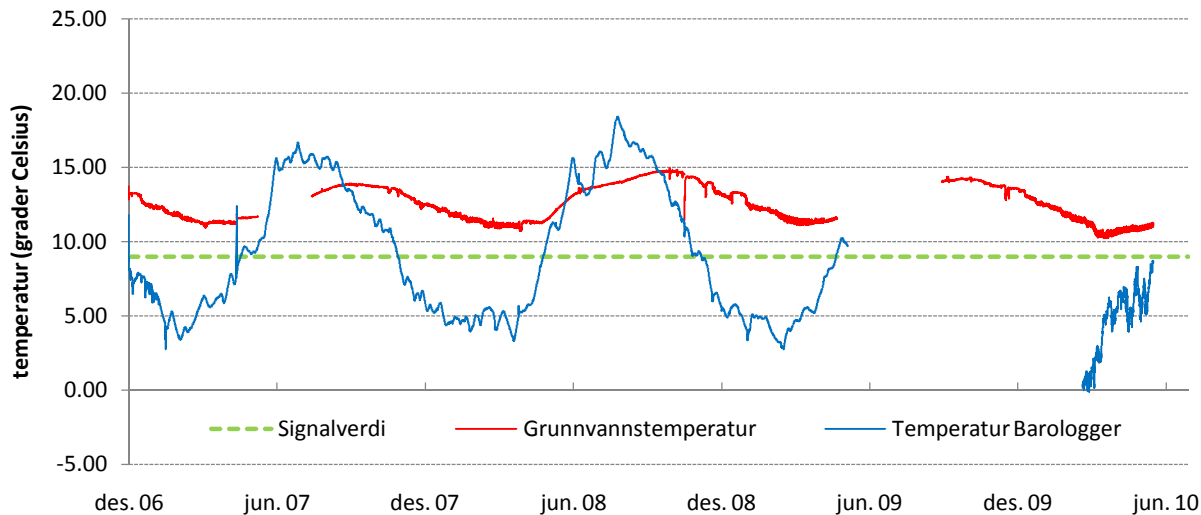
**MB17**



**MB16**

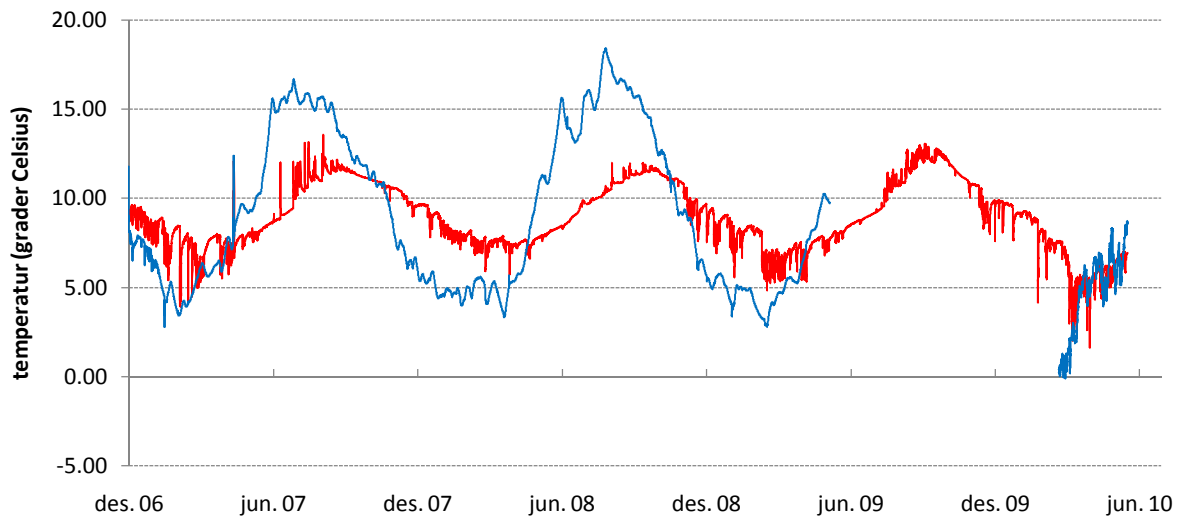


**MB13**

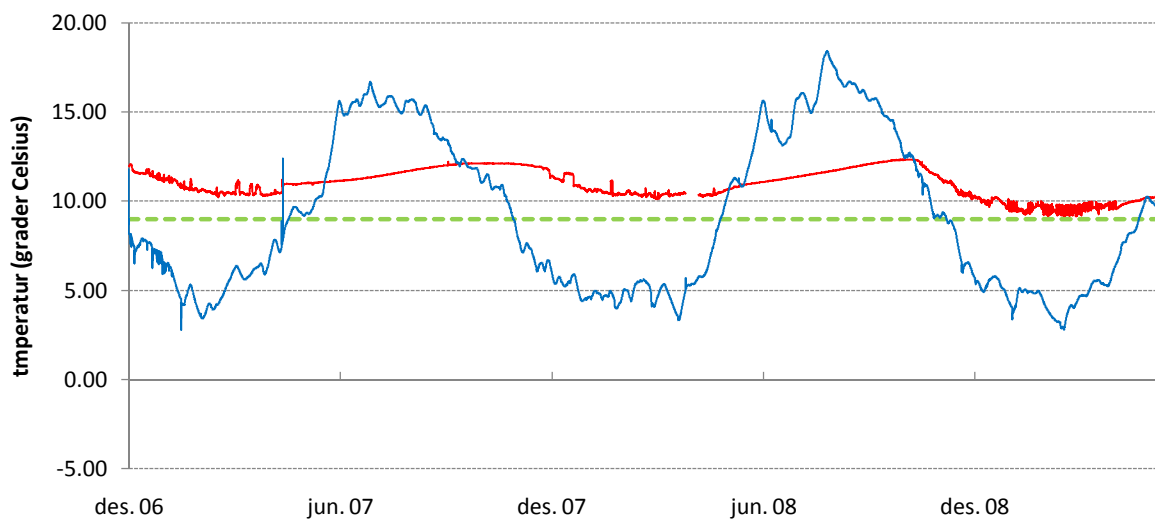




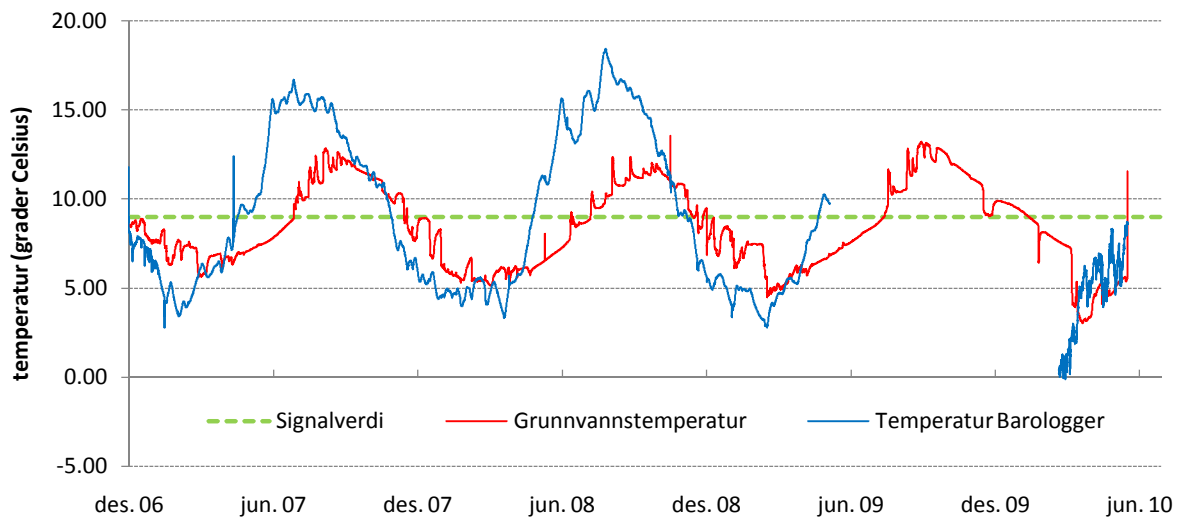
**MB11**



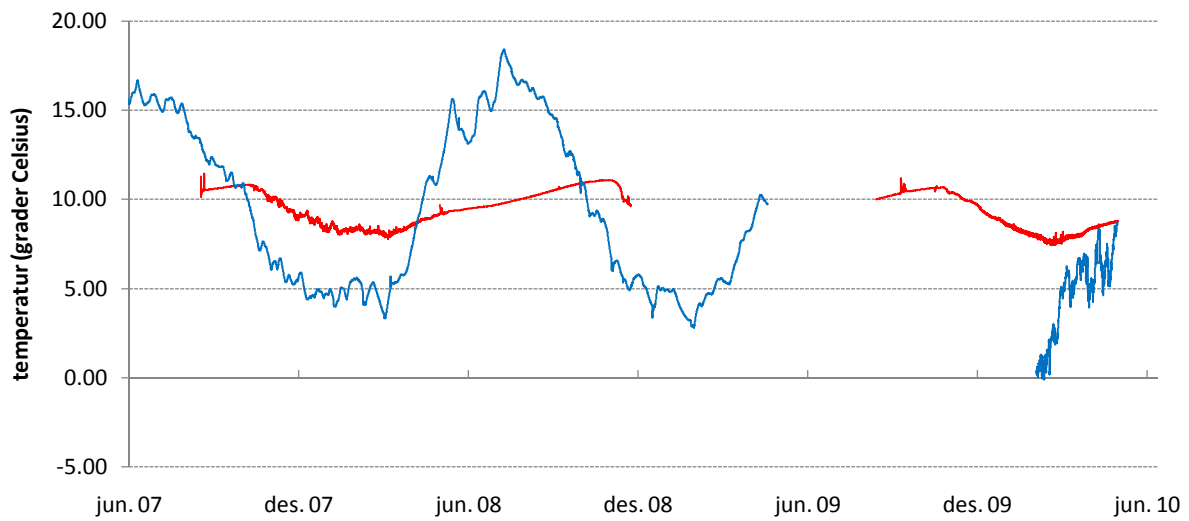
**MB2**



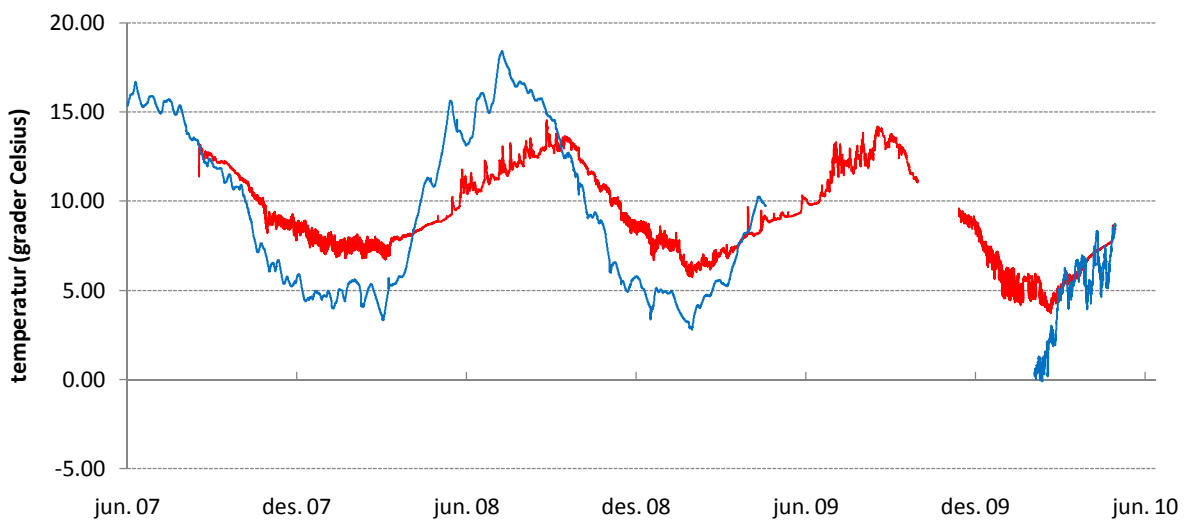
**MB21**



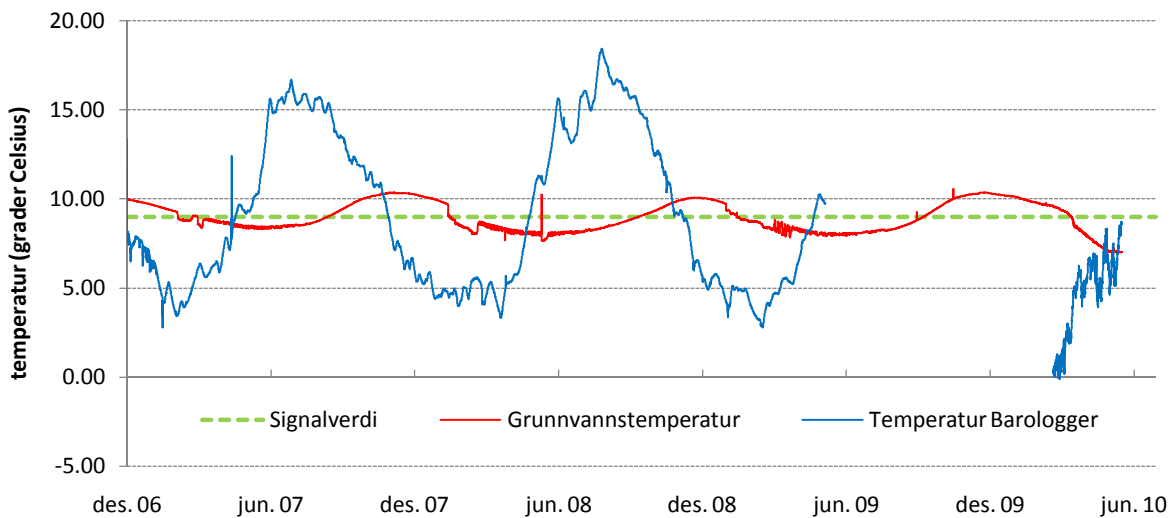
**MB25**



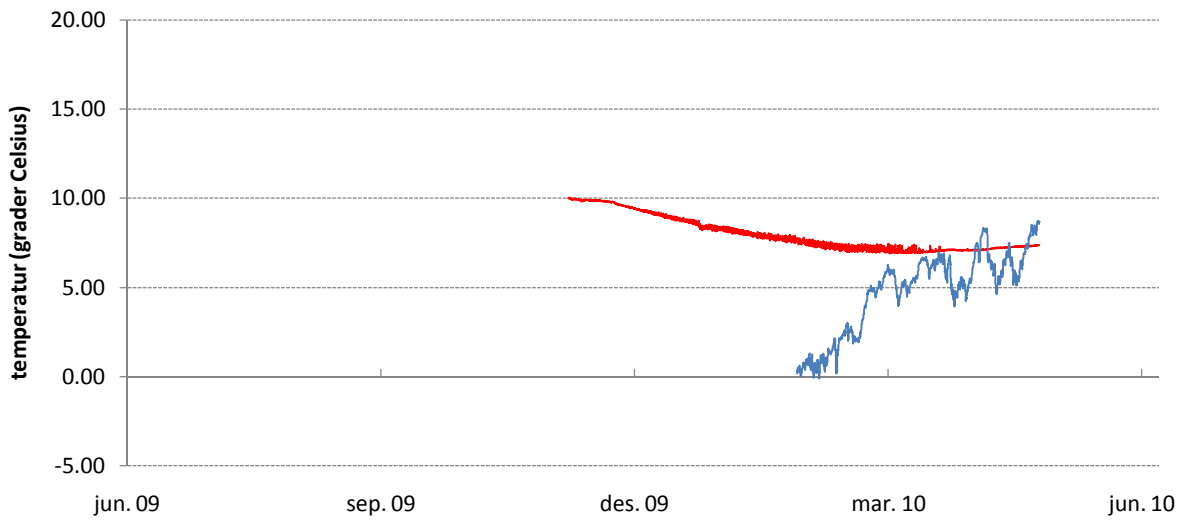
**MB26**



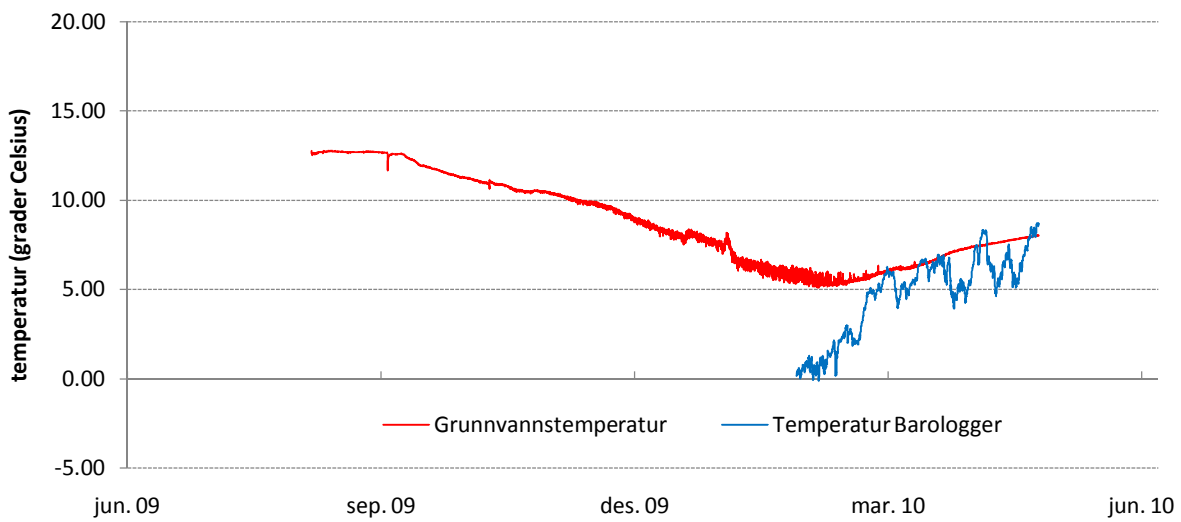
**MB7**



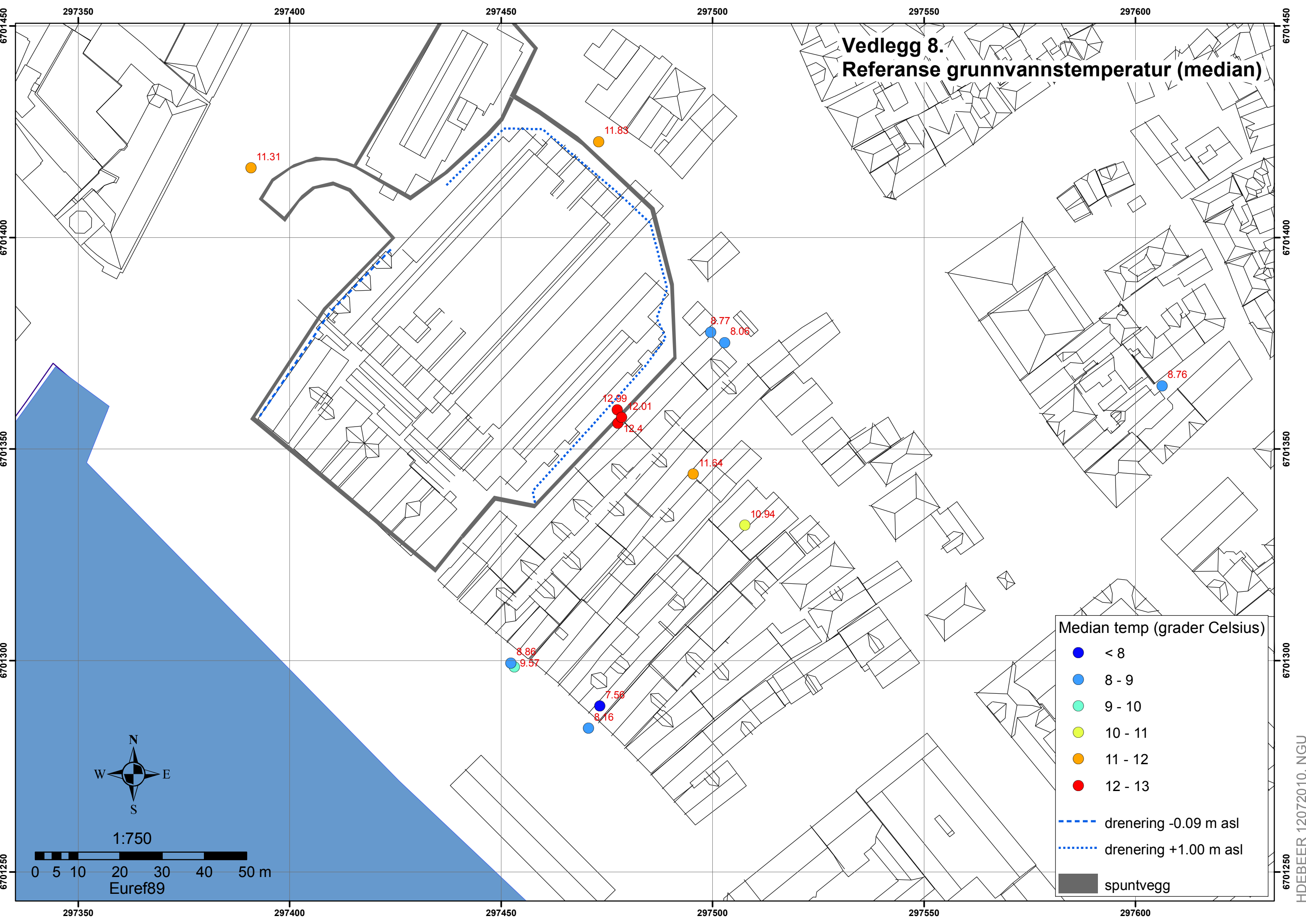
### MB29



### MB27



# Vedlegg 8. Referanse grunnvannstemperatur (median)



**Median temp (grader Celsius)**

- < 8
- 8 - 9
- 9 - 10
- 10 - 11
- 11 - 12
- 12 - 13

- - - drenering -0.09 m asl
- . . . drenering +1.00 m asl
- spuntvegg

1:750

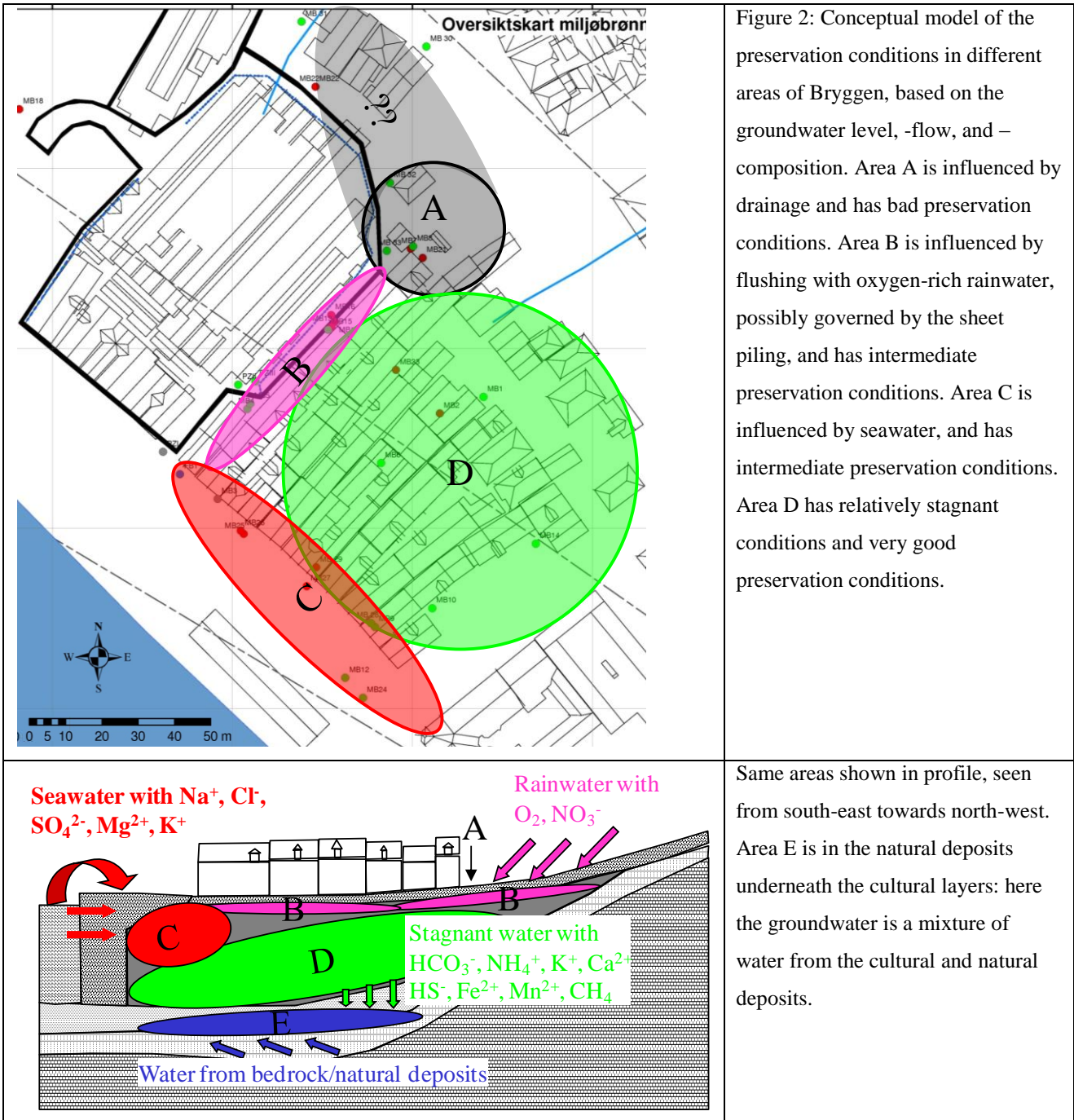
0 5 10 20 30 40 50 m

Euref89

## Vedlegg 9: Referencesituation for bevaringsforhold

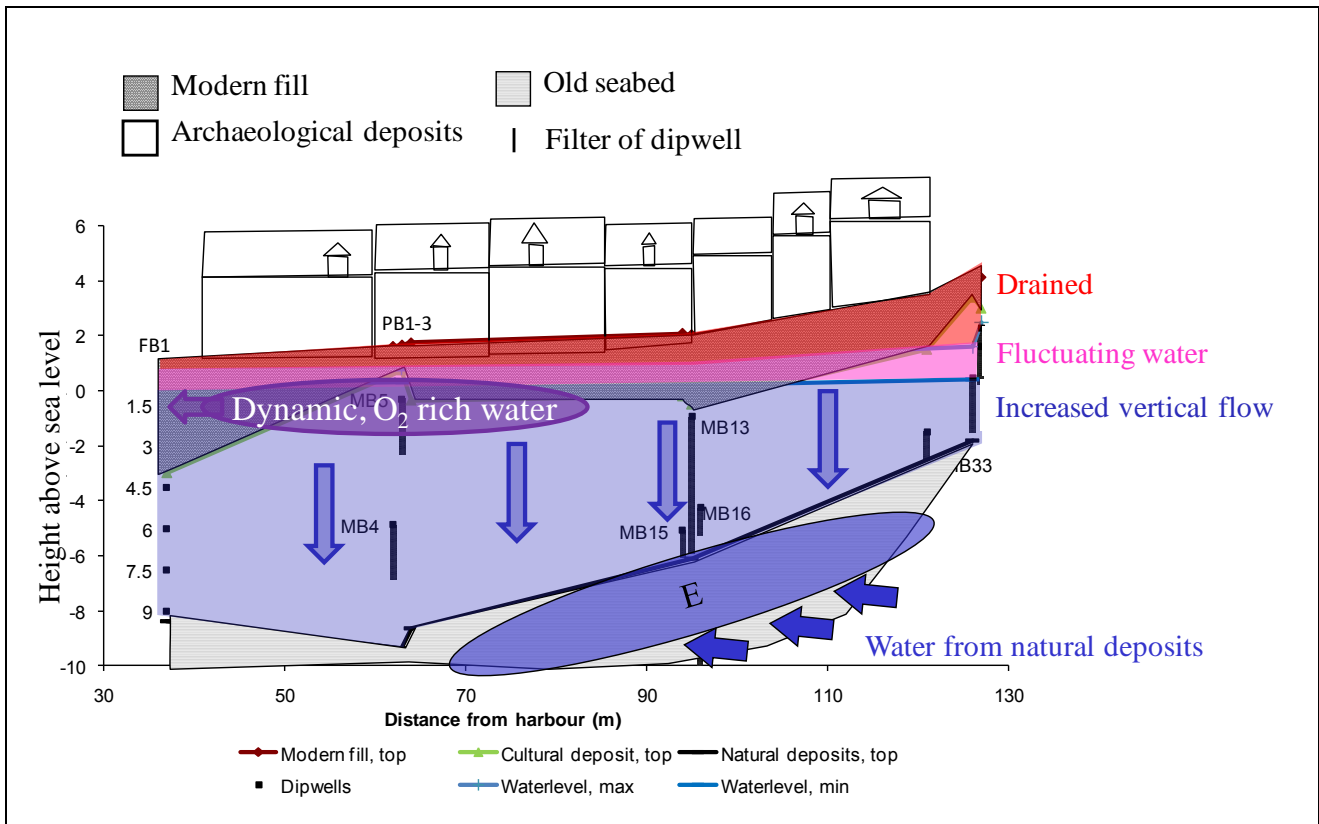
Bevaringsforholdene varierer både vertikalt og horisontalt, og beskrives her vha. et oversigtsbillede og to profiler ved hhv. spunsvæggen og ved havnefronten. Vurderingen er beskrevet i en række rapporter, men søges hér opsummeret til en simpel kategorisering fra 1 (elendig), 2 (dårlig), 3 (middel), 4 (god) og 5 (udmerket). Kategoriseringen er semi-kvantitativ ud fra en vurderet nedbrydningshastighed for kulturlagene, men det skal understreges at vurderingen er stærkt afhængig af nogle (usikre) estimater for grundvandstrømning.

Fra Matthiesen 2010: Preservation conditions in the area bordering the sheet piling at Bryggen, Bergen.



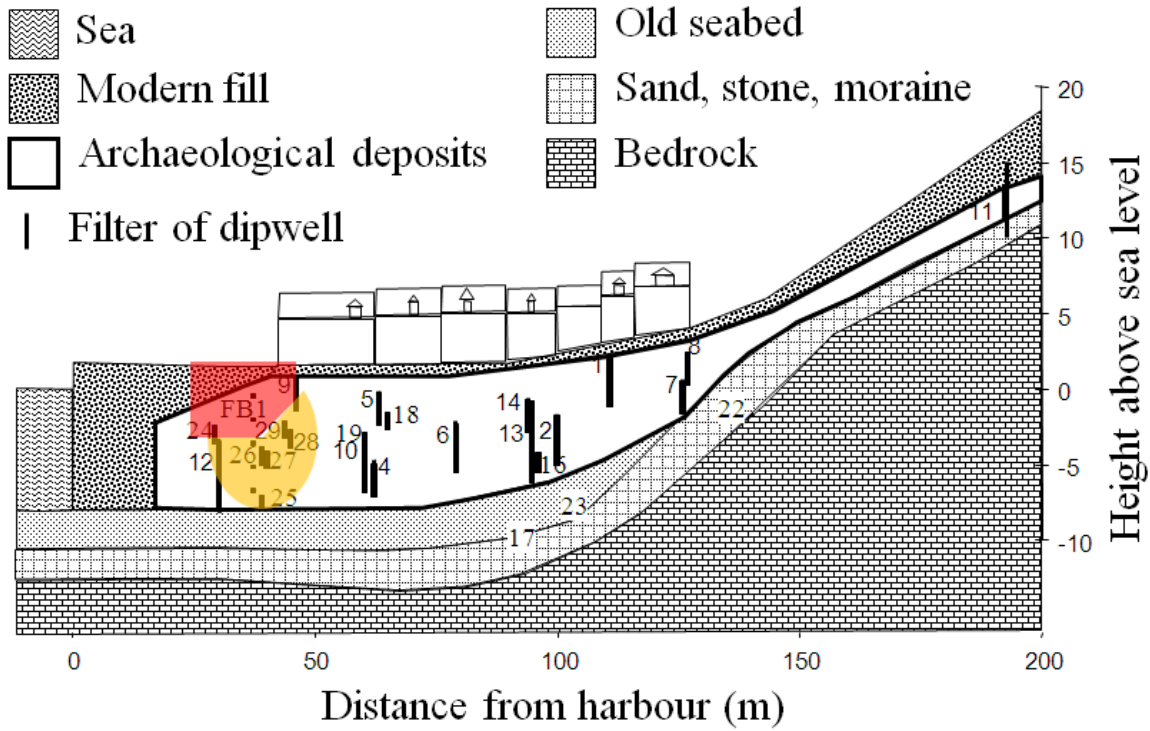
Vurdering af bevaringsforhold: Område A (drænet): kategori 1 (elendig) i den øverste del, herunder bedre (afhængig af lagenes tæthed og oxygennedtrængning); område B: kategori 2/3 (dårlig/middel), område C: kategori 2 (dårlig), område D: kategori 5 (udmerket), område E: udenfor kategori (naturlig aflejring).

Fra Matthiesen 2010: Preservation conditions in the area bordering the sheet piling at Bryggen, Bergen.



Vurdering af bevaringsforhold: rødt (drained): kategori 1 (elendig) eller udenfor kategori (da primært moderne opfyld); pink (fluctuating water): kategori 2 (dårlig); mørk violet (dynamic O<sub>2</sub> rich water): kategori 2/3 (dårlig/middel); blå (increased vertical flow): kategori 3 (middel); mørkeblå (E): udenfor kategori (naturlig aflejring).

Fra Matthiesen 2010b: Seawater intrusion beneath the quayfront buildings of Bryggen, Bergen



Vurdering af bevaringsforhold:

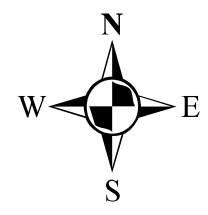
Rødt område (med stor tilførsel af sulfat gennem porøse masser): kategori 2 (dårlig)

Overgang mellem rødt og gult område (hvor en del sulfat tilføres ved diffusion): kategori 3 (middel)

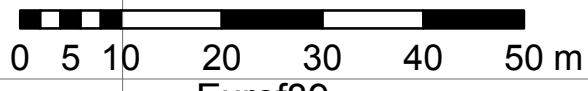
Gult område (hvor det meste sulfat er brugt op): kategori 4 (god)



# Vedlegg 10. Målepunkter setninger (Multiconsult, 2010)



1:750



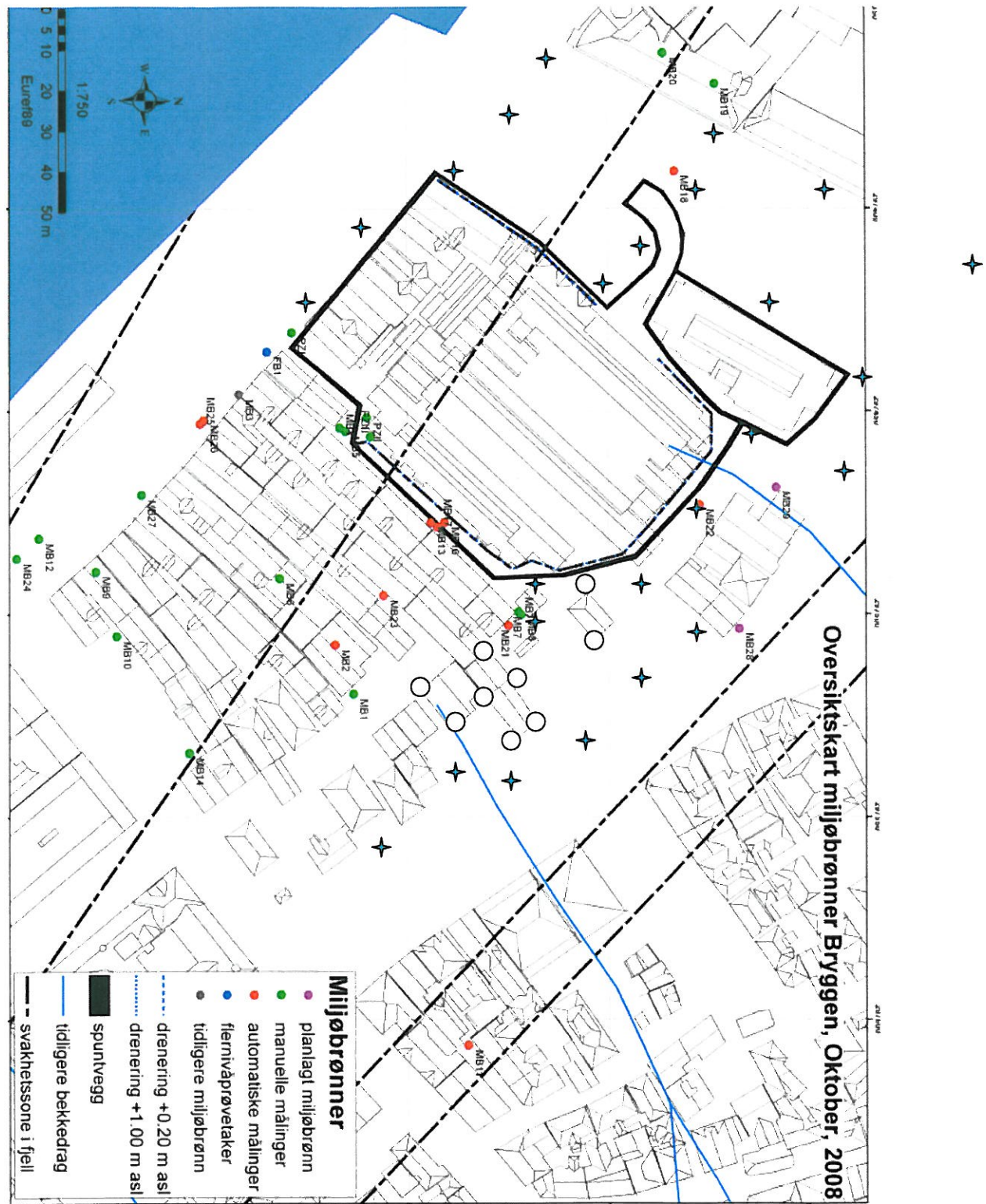
Euref89

+ målepunkt setninger

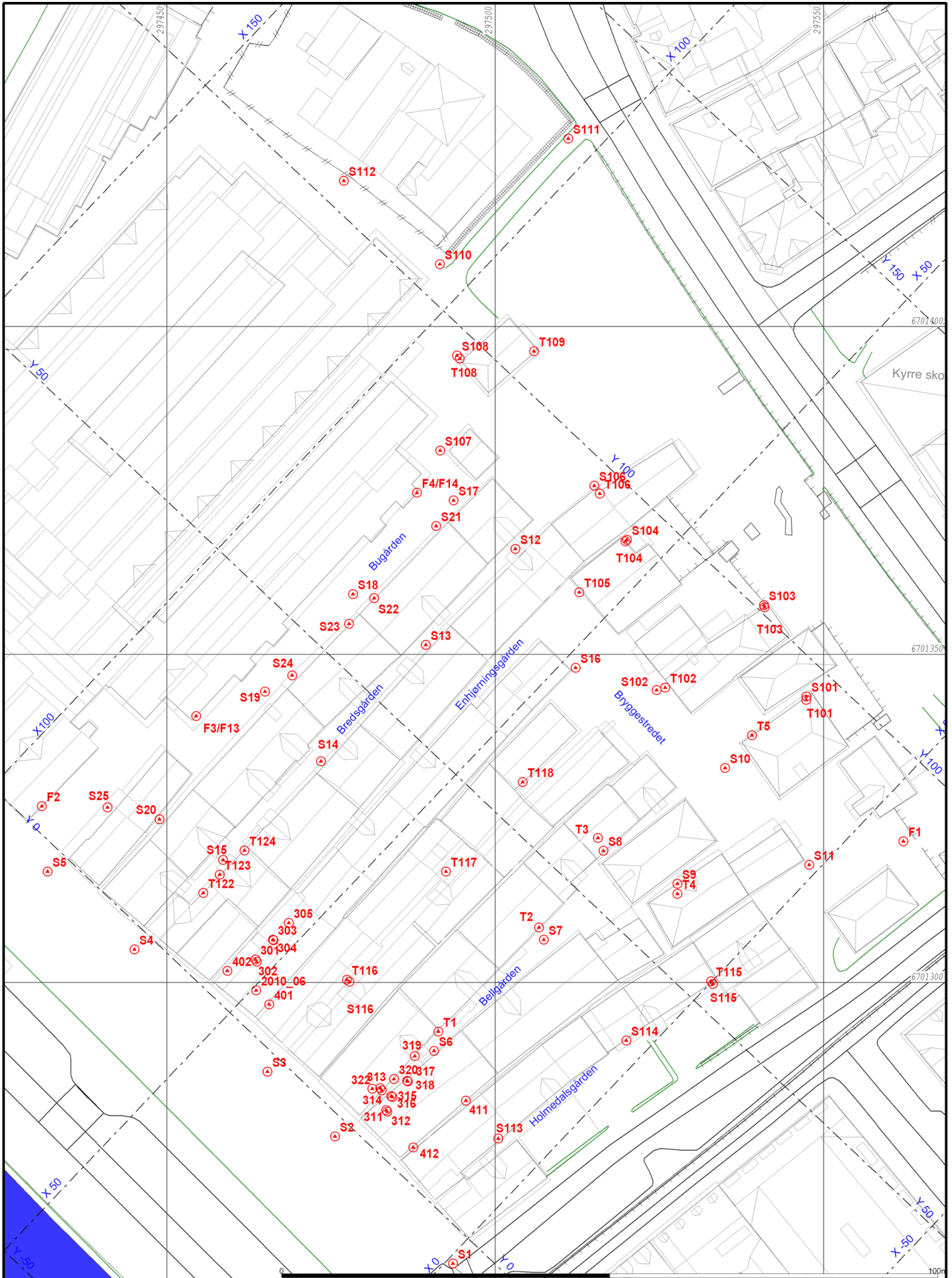
## Setningsmålinger på Bryggen i Bergen

### Setninger og horisontalbevegelser til 2009

MULTICONSULT



Figur 4: Sirkler viser anbefalt plassering av nye parallelle målepunkt på bygg (skruer) og jordspyd på terreng ved siden av. Stjerner viser anbefalt plassering av nye målepunkt på terreng (Kartgrunn lag NGU ved Hans de Beer).



Anko AS - Bergen  
 Fjøsangerveien 50C - 5059 Bergen  
 55387870 / www.anko.no



Dato: 2010.11.23  
 Sign: jn

Anko AS  
 Bergen

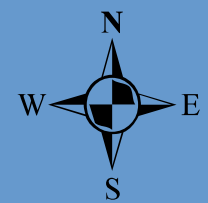
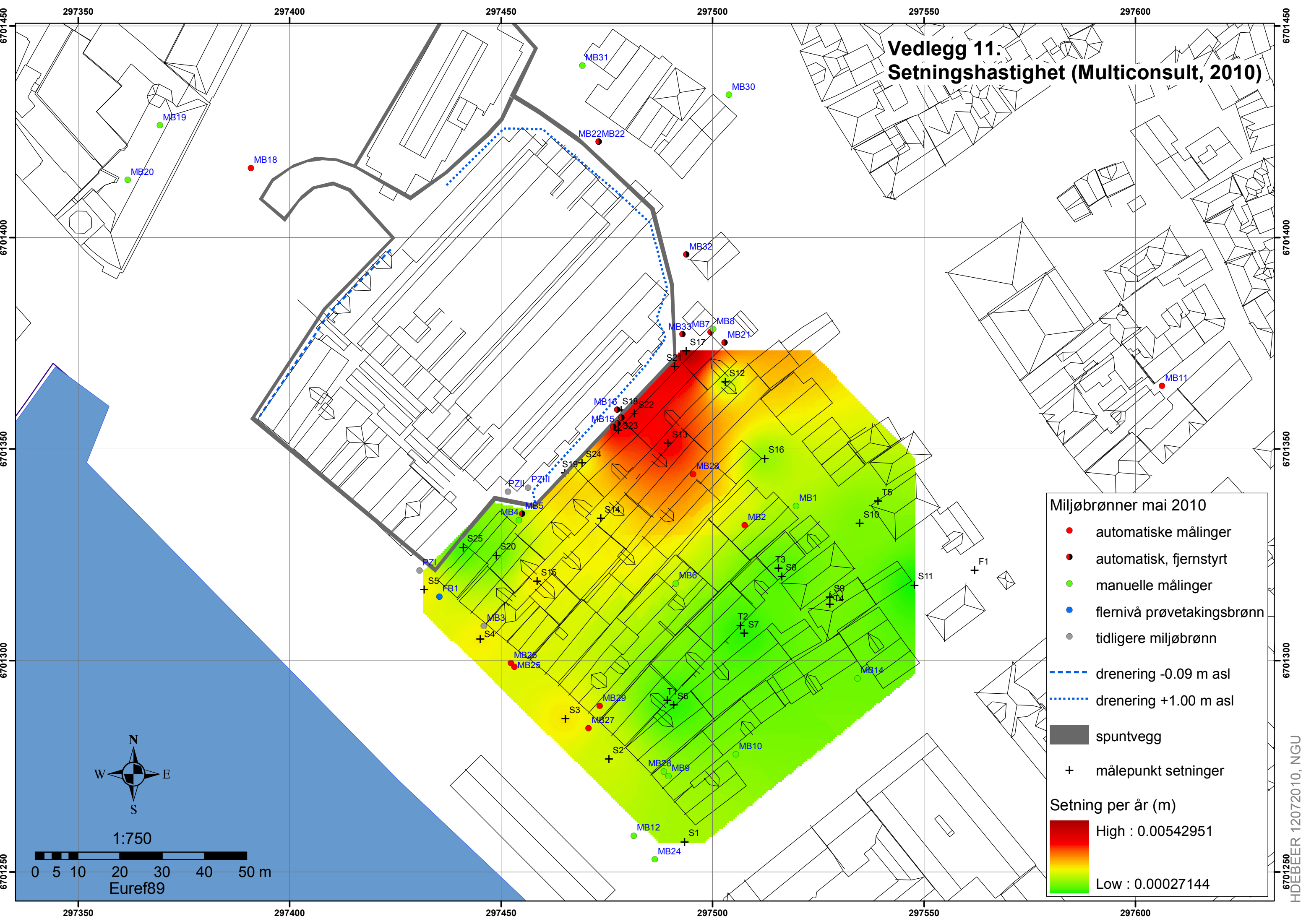
S: Punkt i grunn. T: Punkt i vegg

Målepunkter Bryggen



Målestokk:  
 1:550

# Vedlegg 11. Setningshastighet (Multiconsult, 2010)



1:750



Euref89

Riksantikvaren  
v/ Ann Christensson  
Postboks 8196 Dep.  
0034 OSLO

Deres ref.: PB302  
Vår ref.: 10/00067-8  
Prosjekt: 271222

Trondheim 21.6.2010

Saksbehandler: Hans de Beer

## **FORSLAG TRINNVIS HEVING AV DRENSNIVÅET UNDER RADISSON SAS HOTELLET, BRYGGEN**

Det vises til vår e-post til H. Reksten og A. Instanes fra 24. oktober 2007 med kopi til blant andre Riksantikvaren, med forslag for en midlertidig trinnvis økning av dreinsnivået under Radisson SAS hotellet ved Bryggen (utkast til brev med referanse 06/00651-14 fra 5. oktober 2007). E-posten om forslaget var en oppfølging av et møte mellom Riksantikvaren, Vital Eiendom og dens faglige konsulenter på 13. september 2007. Det framlagte forslaget ble avvist av Vital basert på usikkerhet rundt stabiliteten til byggekonstruksjonen og ansvarsforhold rundt skader som eventuelt kunne oppstå som følge av forsøket.

Multiconsult gjennomførte 2. november 2008 en innmåling av dremsledningen som iflg. byggetegningen ble anlagt på kote +0,45 m. Bunnen av røret ble målt inn på kote -0,09 m. Det konkluderes dermed at kummen (og dremsledningen) har gjennomgått en setning på 0,54 m siden ledningen ble anlagt i 1979, og at systemet i dag dreneres på gjennomsnittlig havnivå. Iflg. Multiconsult (pers. medd. Jann Atle Jensen) er dette en setning som er i tråd med setningene i nærområdet og som lokalt kan forventes ut fra undergrunnens endrede oppbygning etter hotellets oppføring.

Ved oversendelse av NGU rapport 2008.069 fra 3. november 2008, ble det sendt et tilleggsnotat (referanse 06/00651-24) hvor NGU anbefalte å iverksette strakstiltak i samarbeid med Vital Eiendom for å heve dreneringsnivået til et minimumsnivå på kote +0,45, slik det opprinnelig var tiltenkt da hotellet ble prosjektert.

10. juli 2009 ble en rapport med utkast til tiltak for permanent gjenopprettelse og stabilisering av grunnvannsforholdene ved Bryggen publisert (Multiconsult, 610706-1-2). Denne rapporten er pr. i dag unntatt offentlighet grunnet uavhengig kvalitetssikring hos SINTEF Byggforsk. Ovennevnt forslag til (delvis) midlertidig heving av dremsnivået er ikke del av tiltaksrapporten, men anbefales utført i forkant av videre prosjektering for å bedre kartlegge og kvantifisere den hydrauliske forbindelsen mellom undergrunnen ved Bryggen og Radisson SAS hotellet, samt kartlegge eventuelle lokale lekkasjer i spuntveggen rundt hotellet.

Imidlertid er overvåkingssystemet ved Bryggen utvidet, og dataloggere i overvåkingsbrønnene direkte rundt hotellet er nå utstyrt med fjernavlesningsmulighet, slik at en online oppfølging av grunnvannssituasjonen kan foretas.

Basert på ovennevnte opplysninger anbefales det å iverksette en heving av dretnsnivået under Radisson SAS hotellet så snart som mulig. I tråd med tidligere anbefalinger, anbefales det å utføre hevingen trinnvis, med sikt på en permanent heving til kote +0,45 m og midlertidig til minst kote +1,0 m. Tiltaket og nødvendig overvåking er beskrevet i vedlegg 1 og framstilt på kart i vedlegg 2.

Med vennlig hilsen

Bjørn Frengstad  
lagleder - Grunnvann

Hans de Beer  
forsker

#### Vedlegg

1. Beskrivelse trinnvis heving av dretnsnivået under Radisson SAS hotell Bryggen.
2. Oversikt drenering og observasjonsbrønner.

## **Vedlegg 1 Beskrivelse trinnvis heving av drewnivået under Radisson SAS hotell Bryggen**

### MÅL

Hovedformålet med en heving av drewnivået er å øke grunnvannstrykket under hotellet, og redusere innlekkasje og grunnvannssenkning i kulturlagene under Bryggen. Delmålene til forslaget er:

- a) Permanent heving av grunnvannstrykket til kote +0,45 m, slik det opprinnelig var tiltenkt.
- b) Kartlegge og kvantifisere den hydrauliske forbindelsen mellom undergrunnen ved Bryggen og Radisson SAS hotellet,
- c) Kartlegge eventuelle lokale lekkasjer i spuntveggen rundt hotellet.
- d) Forbedre kvantifisering av forventede effekter av permanente tiltak for å heve grunnvannstanden i kulturlagene under Bryggen.

Forslaget bygger i utgangspunkt på grensebetingelsen gitt av A. Instanes pr. telefon, 28. september 2007, at det ikke er ønskelig å utsette parkeringskjelleren under hotellet for et langvarig hydraulisk trykk tilsvarende en heving av grunnvannsnivået til kote +1,0 m (NN1954). Ifølge Instanes er konstruksjonen av hotellbygningen dimensjonert for å kunne motstå et kortvarig vanntrykk tilsvarende en grunnvannsnivå på kote +1,0 m. Dette vanntrykket oppstår i dag under hotellet i perioder med springflo. Å utsette konstruksjonen for et konstant vanntrykk til dette grunnvannsnivået betraktes av Instanes som uforsvarlig, særlig med hensyn til alder på bygningen.

### PLANLAGTE FORSØK

Det foreslås en trinnvis heving av vannstanden i dreneringssystemet fra kote -0.09 m (antatt nåværende drewnivå) til maksimalt kote +1,0 m i 3 trinn over en periode av 1 uke. Effekter av hver trinn følges nøye med høyfrekvente målinger av grunnvannstand i flere eksisterende observasjonsbrønner rundt hotellet, samt visuelle observasjoner og manuelle målinger i drewnskummene rundt hotellet.

Følgende framgangsmåte foreslås:

#### Dag 1

1. Nøyaktig innmåling av eksisterende kum og ledninger i alle kum (undersiden ledning).
2. Inspisering, kartlegging og fotografering av eksisterende skader på parkeringskjelleren, og identifikasjon av sårbare områder samt risiko på innlekkasjer.
3. Installasjon og (re)programmering av loggere i følgende eksisterende observasjonsbrønner: MB2, 4, 5, 7, 8, 13, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 31, 32 og 33. Loggere programmeres med målefrekvens hvert 5. minutt. Beliggenhet av observasjonsbrønnene er fremstilt i vedlegg 2.
4. Manuelle målinger av vannstand foretas i drewnskummene 1-10 hver 4. time om de ikke er tørrlagt.

#### Dag2

5. Heving av drewnivået til kote +0,45 m, med hjelp bend på inn- eller utløpsrøret. Om dette ikke fungerer, konstrueres det en vertikal vegg i kummen, som fungerer som overløp.
6. Online avlesning av loggere for å følge effekter, med høy avlesningsfrekvens de første 2 timer (nærmest kontinuerlig).
7. Manuelle målinger av vannstand foretas i drewnskummene 1-10 hver 4. time om de ikke er tørrlagt.

### Dag 3

8. Heving av dreinsnivået til kote +0,80 m.
9. Online avlesning av loggere for å følge effekter, med høy avlesningsfrekvens de første 2 timer. Ut fra overvåking av (grunn)vannstand og eventuelle endringer i innlekkasjer eller bevegelser av kjellerkonstruksjonen vurderes om dreinsnivået kan opprettholdes over natten.
10. Manuelle målinger av vannstand foretas i drenskummene 1-10 hver 4. time om de ikke er tørrlagt.

### Dag 4

11. Heving av dreinsnivået til kote +1,0 m.
12. Vannføringen i drensledningen på nordøstsida av hotellet måles i hver kum.
13. Ut fra overvåking av (grunn)vannstand og eventuelle endringer i innlekkasjer eller bevegelser av kjellerkonstruksjonen vurderes om dreinsnivået kan opprettholdes over natten eller lengre tid.

### Dag 5

14. Reduksjon av dreinsnivået til kote +0,45 m.

### Dag 8

15. Avlesning og (re)programmering av loggere til en målefrekvens av en gang pr. time (gjøres på avstand).

En oversikt over observasjonsbrønnene som foreslås å bruke i forsøket, samt en skisse over drenering med kum er fremstilt i vedlegg 2. Utgangspunktet er arbeidstegning for utvendige ledninger fra Johan Thunes, tegning 01, prosjekt 591, revisjon Q datert 23. februar 1982.

Periodene hvor dreinsnivået vil bli hevet, vil bli tilpasset tidevannstabellen så godt som mulig. Hevingen av dreinsnivået bør helst skje i 6-timers fjæresjø perioden.

Forsøket kan medføre noe dårlig lukt ( $H_2S$ ) i området rundt åpne kummer, særlig på sørvest hjørne av SAS hotellet. Midlertidig åpne kummer kan også medføre ulemper for trafikkgjennomgang bak hotellet og ved Bugården. Områder rundt åpne kummer vil bli godt synlig sperret og det vil bli skiltet advarsel med hensyn til lukt og arbeid.

Drensforsøket foreslås utført så snart som mulig etter sommersesongen. Forsøket koordineres av Hans de Beer ved NGU. Det er behov for assistanse i felt ved innmåling av høyder (rør og kum), samt ved sperring av området og trinnvis heving av dreinsnivået. I forbindelse med arbeidet i drenskummer vil det, utenom vanlige sikkerhetsrutiner, også være nødvendige tiltak for beskyttelse mot  $H_2S$ -gass. Teknisk assistanse og sikkerhet i felt blir koordinert av Jann Atle Jensen i Multiconsult.



