



NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE

- NGU -

Bergen kommune v/ Bergen Vann  
Marit Aase  
Postboks 7700  
5020 BERGEN

Kopi: Riksantikvaren v/ Hanne Merete Moldung

Deres ref.: Marit Aase  
Vår ref.: 20/00264-18

Trondheim 16.03.2023

Saksbehandler: Hans de Beer

## **Bybanen BT5 - Overvåking av grunnvann og setninger i anleggs- og driftsfasen ved Bryggen i Bergen.**

Viser til Riksantikvarens innspill til Vestland fylkeskommune om forslag til reguleringsplan for Bybanen og hovedsykkelrute fra sentrum til Åsane med forlenging av Fløyfjellstunnelen, Bergen kommune, fra 1. desember 2022.

På bakgrunn av anbefalingene fra UNESCOs rådgivende befarings<sup>1</sup> og KUVA-rapporten<sup>2</sup> har Riksantikvaren blant annet bedt om utredning av en overvåkings- og risikostyringssystem for en mulig anleggsfase, samt etablering av et miljøovervåkingsprogram ett år før, under og 10 år etter en anleggsfase knyttet til hydrologi og setninger med tanke på langtidseffekter av en mulig Bybaneutbygging.

Dette notatet beskriver våre anbefalinger for hvilke krav som bør stilles til overvåking av grunnvann og setninger i et slikt overvåkings- og risikostyringssystem, og til et langvarig miljøovervåkingsprogram. Det vises her også til NIKU sin faglige tilrådning<sup>3</sup> til Riksantikvaren om plassering av punkter for arkeologiske undersøkelser for å få et bedre kunnskapsgrunnlag om omfang, dybde og tilstanden til de arkeologiske kulturlagene som kan bli berørt av tiltak som følge av planforslaget, både direkte og indirekte. NIKU sin tilrådning har overlapp med våre anbefalinger knyttet til plan for risikostyring og utvidet overvåkingsprogram.

Anbefalingene begrenser seg til den planlagte Bybanestrekningen langs verdensarvområdet Bryggen. Utredning av overvåkingsplaner og tilhørende risikostyring langs øvrige deler av Bybanestrekningen krever innhenting av kunnskap og data om grunnforhold, pågående setninger og grunnvannsnivå i dagens (referanse) situasjon. Dette er under utførelse og i tråd med NIKU sin faglige tilrådning.

Vedlegg 1 omfatter en engelsk oppsummering som kan oversendes til Unesco for godkjenning jf. punkt 6 og teknisk vurdering jf. punkt 7 under ToR1 i Unescos rapport<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> UNESCO (2022). Report on the joint Unesco World Heritage Centre / ICOMOS advisory mission to the World Heritage Property «Bryggen» (Norway) from 19 to 21 september 2022.

<sup>2</sup> Michael Kloos planning and heritage consultancy, 2022. Heritage Impact Assessment (HIA) of the «Planforslaget Bybanen DS/1 Kaigaten-Sandbrogaten» on the World Heritage Property Bryggen in Bergen. Final report, 18. oktober 2022.

<sup>3</sup> NIKU (2023). NIKUs tilrådning vedr. Riksantikvarens saksnummer 20/11439-165 – Planforslag for Bybanen – DS1 Bergen sentrum til Åsane, Bergen kommune, Vestland Fylke, 27. januar 2023.

## Overvåkingsprogram før en eventuell anleggsfase - referansesituasjon

For å kunne vurdere eventuelle konsekvenser som følge av anlegg og drift av Bybanen på grunnvannsforholdene og dermed potensiale for nedbrytning av arkeologisk materiale og eventuelle setninger, er det vesentlig å forstå referansesituasjonen (nullsituasjonen) før tiltakene igangsettes. Der referansesituasjonen er ukjent, bør den etableres minst 1 år før anleggsfasen.

Det er utført omfattende grunnundersøkelser i og rundt verdensarvområdet de siste 2 desennia. Undersøkelsene har gitt en meget god forståelse av grunnforholdene og grunnvannsforholdene ved Bryggen. I de senere årene har det blitt utført tiltak for å heve og stabilisere grunnvannsnivået ved Bryggen som var unaturlig lavt som følge av drenering under SAS-hotellet nordvest for verdensarven, og skapte både tap av kulturlag og setningsproblemer. Langs Bryggens fasade er det utført grunnvannsregulerende tiltak for å stabilisere grunnvannsnivået i forhold til byggenes fundamenter.

Tidligere arkeologiske, hydrogeologiske og geotekniske undersøkelser har også gitt viktig kunnskap om arkeologi, grunn- og grunnvannsforholdene i området som potensielt kan bli påvirket av Bybanen, selv om kaiområdet ikke har vært i søkelyset tidligere. Referansesituasjonen for grunnvannet og setningsutvikling kan beskrives basert på disse undersøkelsene. Pågående grunnundersøkelser i forbindelse med reguleringsplanen, vil komplementere denne beskrivelsen.

Tabell 1 viser referansesituasjonen for grunnvann i eksisterende miljøbrønner i området rett foran Bryggens fasade, målt i perioden 2006 til 2010. Nivåene er beregnede 5-, 50- og 95-persentiler for lengre måleserier i disse brønnene, publisert i overvåkingsplan for Bryggen<sup>4</sup>. Oversikten viser at variasjonene er relativt begrenset, og at grunnvannsnivået ligger enkelte desimeter over middelvannstand. Det er ingen grunn til å anta at dagens grunnvannsforholdene er vesentlig annerledes enn som vist i tabell 1. Det forventes at dagens laveste grunnvannstand kan være litt høyere og mer stabil etter at det ble utført grunnvannsregulerende tiltak langs Bryggens fasader. Dette er viktig for bevaringsforhold av kulturlag og eventuell fuktproblematikk i bygg, men det er ikke relevant i forhold til risiko for nedbrytning og setninger i anleggs- eller driftsfasen av Bybanen.

Tabell 1 Referansesituasjon for grunnvann i miljøbrønner overvåket i periode 2006-2010 (merk: referansenivå NN1954).

Miljøbrønn	Beskrivelse	Referanse lav (m)	Referanse median (m)	Referanse høy (m)
MB26	Bryggen 31, Enhjørningsgården	+0,16	+0,35	+0,58
MB25*	Bryggen 31, Enhjørningsgården	+0,15	+0,40	+0,63
MB27	Bryggen 23, Svensgården	+0,25	+0,44	+0,63
MB9	Bryggen 19, Holmedalsgården	+0,06	+0,17	+0,47

\* MB25 er plassert med filteret på større dybde, i gammel sjøbunnavsetning.

De hydrologiske forholdene ved verdensarvstedet Bryggen er resultatet av et samspill mellom tidevannsvariasjoner, grunnvannsstrømning fra området nordøst for Bryggen og i begrenset grad av infiltrasjon av nedbør<sup>5</sup>. Ved fronten av Bryggen er grunnvannsforholdene sterkt styrt av tidevannsnivået i Vågen. Grunnvannsovervåking i dette området viser lokalt store variasjoner i dynamikken til grunnvannet, avhengig av vannførende egenskaper i undergrunnen. Stedvis er det påvist en meget god hydraulisk forbindelse mellom grunnvannstanden rett foran fasadene og

<sup>4</sup> De Beer og Matthiesen (2011). Overvåkingsplan for undergrunnen ved Bryggen i Bergen. NGU rapport 2010.040, 2. februar 2011.

<sup>5</sup> De Beer (2008). Statusrapport grunnvannsovervåking og hydrogeologisk modellering ved Bryggen i Bergen. NGU rapport 2008.069, 3. november 2008.

Vågen. Ved MB26 ble denne forbindelsen konstatert over kote +0,30 moh., trolig forårsaket av vannstrømning gjennom et eller flere hydraulisk åpne systemer, som for eksempel grove fyllmasser i ledningstraseer. Ved styring av risiko under en eventuell anleggsfase er det viktig å være kjent med at det kan forekomme lokalt store variasjoner i grunnforhold, og at dette kan påvirke konsekvenser av f.eks. gravetiltak eller pumping av grunnvann.

I forbindelse med reguleringsarbeidet og nærmere avklaring av arkeologi og grunnforholdene mellom Bryggen og Bybanetraseen, plasseres nå flere nye grunnboringer og miljøbrønner i kaiområdet, som til dels instrumenteres med overvåkingsutstyr. Disse miljøbrønnene vil ligge nærmere Vågen enn de eksisterende brønner, og det forventes derfor at de vil være mer påvirket av tidevannet og vise noe større grunnvannsvariasjoner enn ved Bryggens fasade. Samtidig vil den gjennomsnittlige grunnvannsnivået trolig være noe lavere, og nærmere middelvannsnivået.

Når det gjelder referansesituasjon for setninger er dette en del av det ordinære miljøovervåkingsprogrammet ved Bryggen, der setningsutviklingen på både bygg og terreng innenfor verdensarvområdet overvåkes jevnlig. Siste rapport<sup>6</sup> viser en gjennomsnittlig setningsutvikling på terreng ved fronten av Bryggen på mellom 1 og 2 mm/år (måleperioden 21 år). Det er årlige og sesongmessige variasjoner i setningshastighet som bør hensyntas ved fastsettelse av en alarmverdi under en eventuell anleggsfase.

### Overvåkingsprogram under en eventuell anleggsfase

Setningsrisiko som følge av endringer i grunnvannstrykk øker når trykket blir lavere enn nivået som grunnen har blitt utsatt for tidligere. Nedbrytning av organiske kulturlag øker også kraftig når grunnvannsnivået synker og kulturlagene blir tilført oksygen.

For grunnvannet langs Bryggens fasade betyr det at grunnvannsnivået ikke bør bli lavere enn referanseverdien lav angitt i tabell 1 (5-persentil). Denne referansen er derfor en viktig signalverdi. Når grunnvannet synker under denne verdien som følge av anleggsarbeid, skal arbeidet stoppes, årsaken kartlegges, og korrigerende tiltak iverksettes. Tabell 2 viser alle anbefalte signalverdier for MB26 og MB27 som angitt i overvåkingsplan for Bryggen<sup>7</sup>. Det anbefales at de eksisterende miljøbrønnenes funksjon kontrolleres, og at det installeres trykksensorer i MB26 og MB27 før eventuelt anleggsarbeid starter.

Tabell 2 Signalverdier grunnvannsstand (Merk: referansenivå NN1954)

Miljøbrønn	Beskrivelse	Nedre signalverdi	Ønsket	Øvre signalverdi
MB26	Bryggen 31, Enhjørningsgården	+0,16 m	+0,35 m	+0,57 m
MB27	Bryggen 23, Svensgården	+0,25 m	+0,44 m	+0,53 m

Risikoen for setninger i det ytre kaiområdet ved Bybanetraseen forventes å være lavere både på grunn av til dels moderne fyllmasser, og fordi trykkvariasjonene i grunnvannet nærmere Vågen er større som følge av tidevannet. Likevel bør en ikke senke grunnvannsnivået lavere enn det laveste nivået som har forekommet tidligere (referansesituasjon). Referansesituasjonen i det ytre kaiområdet blir dokumentert gjennom ytterligere grunnundersøkelser som nå gjennomføres i forbindelse med reguleringsplanen. Disse vil dokumentere både grunn- og grunnvannsforhold, og eventuell arkeologisk bevaringstilstand, og dermed gi viktig kunnskap om risiko.

<sup>6</sup> Dunlop et al. (2022). Miljøovervåking Bryggen i Bergen. Statusrapport Bryggen MOV 31. mars 2022. NIKU rapport 116, 13. mai 2022.

<sup>7</sup> De Beer og Matthiesen (2011). Overvåkingsplan for undergrunnen ved Bryggen i Bergen. NGU rapport 2010.040, 2. februar 2011.

Håndtering av risiko for setninger og nedbrytning av kulturlag er den viktigste grunnen til at gravearbeidene knyttet til Bybanen foran Bryggen skal utføres i våt grøft og i korte seksjoner, slik at arbeidene ikke skal medføre noen negative endringer i forhold til referansesituasjonen. Dersom det i anleggsfasen ikke pumpes, er risiko for nedbrytning av kulturlag og setninger som følge av grunnvannsendringer i anleggsfasen, tilnærmet null. Dersom det stedvis likevel er behov for pumping av grunnvann, må dette utføres i korte perioder (timer til maksimalt noen dager) og ikke over flere uker i strekk. Grunnvannsnivået i kaiområdet og foran verdensarven bør overvåkes gjennom kontinuerlige sensormålinger i både nye (bl.a. DS1-014) og eksisterende miljøbrønner (MB26 og MB27). For nye miljøbrønner må det etableres signalverdier basert på målinger i året før anleggsfasen. For MB26 og MB27 kan tabell 2 benyttes, eventuell korrigert når nye målinger foreligger.

Den planlagte spuntveggen langs Bybanetraseen, nødvendig for trygg utførelse av gravearbeid i våt grøft, vil etter forventning medføre en reduksjon av grunnvannsvariasjonen mellom traseen og Bryggens fasade. Dette vil være gunstig for bevaringsforholdene til kulturlagene i dette området, og bidra til grunnstabilitet. Sensorene i ovennevnte miljøbrønner vil overvåke og dokumentere effektene. Dersom spuntveggen mot forventning skulle ha en negativ påvirkning på grunnvannsforholdene (f.eks. oppstuvning), vil dette fanges opp. Avbøtende tiltak (drenering) bør i så fall iverksettes. Håndtering av risiko og iverksetting av avbøtende tiltak er beskrevet i rapport om risiko for skade på kulturminner langs Bryggen<sup>8</sup>.

Under en anleggsfasen bør bevegelser på Bryggens bygninger og setninger på terreng i kaiområdet overvåkes tilnærmet kontinuerlig, fortrinnsvis med Totalstasjon. Eventuelle økninger i målt setningshastighet i forhold til referansesituasjonen, kartlagt gjennom miljøovervåkingsprosjektet ved Bryggen, skal medføre umiddelbar stopp av anleggsarbeidene, vurdering av årsak og avbøtende tiltak. I detaljprosjekteringen skal det settes alarmverdier for setningshastighet for bygg og terreng.

### **Miljøovervåkingsprogram 10 år etter en eventuell anleggsfase**

Det anbefales at det eksisterende miljøovervåkingsprogram ved verdensarvstedet Bryggen utvides med permanent overvåking av minst 2 miljøbrønner langs fronten, f.eks. MB26 og DS1-014. Programmet vil dermed inkludere dokumentasjon av grunnvannsforholdene mellom Bybanetraseen og verdensarvstedet, og sikre at eventuelle endringer blir detektert før negative konsekvenser for kulturlag (nedbrytning) og/eller skader som følge av setninger oppstår. Signalverdier i driftsfasen er lik verdiene i anleggsfasen.

Miljøovervåkingsprogrammet bør inkludere et overvåkingspunkt ved Hanseatisk museum. Det vises også til NIKUs tilrådning om plassering av punkter for arkeologiske undersøkelser (og miljøbrønner) for å få et bedre kunnskapsgrunnlag om omfang, dybde og tilstanden til de arkeologiske kulturlagene.

I driftsfasen vurderes videreføring av setningsmålingene i det eksisterende miljøovervåkingsprogrammet ved Bryggen som tilstrekkelig for deteksjon og oppfølging av eventuelle konsekvenser på lengre sikt.

### Vedlegg:

- Response protocol and hydrological monitoring programme for possible construction works in relation to the Bybanen track along the World Heritage Site of Bryggen in Bergen, Norway.

*Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskrevne signaturer.*

---

<sup>8</sup> Norconsult (2022). Risiko for skade på kulturminner langs Bryggen. Delrapport til planarbeid for Bybanen og hovedsykkelrute fra sentrum til Åsane, med forlengelse av Fløyfjellstunnelen.



## **Response protocol and hydrological monitoring programme for possible construction works in relation to the Bybanen track along the World Heritage Site of Bryggen in Bergen, Norway**

This report addresses the recommendations for additional risk reduction measures 6 and 7 under ToR1, given by the Joint UNESCO World Heritage Centre/ICOMOS Advisory Mission to the World Heritage property "Bryggen" (Norway):

**Measure 6:** A clear response protocol for any excavations and construction processes in which actions are linked to any negative monitoring indicators needs to be established and submitted to the World Heritage Centre for approval. A key action would be to stop construction or operation of the Bybanen track along Bryggen immediately if any negative structural consequences of hydrological consequences are noticed or significant archaeological discoveries are made. In all such cases all activities, be they construction works or operations of transport infrastructure should be halted, and the World Heritage Centre notified under the provisions of paragraph 172 of the *Operational Guidelines*.

**Measure 7:** A structural and subsurface hydrological monitoring programme (one is already extant, but it may need to be extended) should be submitted to the World Heritage Centre for technical review. This process should be initiated, covering at least one year, well in advance of the construction and continue throughout and after for at least 10 years' operations.

In the following, both measures are addressed in detail, as a prerequisite before the final decision on the implementation of the Daylight Option along the Bryggen Quayside can be taken.

### **Monitoring program before a construction phase - reference situation**

To be able to assess any consequences resulting from the construction and operation of the Bybanen track on the groundwater conditions and thus the potential for the degradation of archaeological material and possible deformation/subsidence, it is essential to understand the reference situation (baseline) before any construction measures are initiated. In areas where the reference situation is unknown, it should be established at least 1 year before the construction phase.

Extensive ground investigations have been carried out in and around the World Heritage site over the past 2 decades. The investigations have provided a very good understanding of the ground and groundwater conditions at the World Heritage site Bryggen. In recent years, measures have been taken to raise and stabilize the groundwater level at Bryggen, which was unnaturally low because of drainage under the hotel northwest of the site. This situation created both a loss of archaeological deposits and subsidence. Along Bryggen's facade, water management measures have been carried out to stabilize the groundwater level in relation to the building's foundations.

Previous archaeological, hydrogeological, and geotechnical investigations have also provided important knowledge about archaeology, ground and groundwater conditions in the quayside area that could potentially be affected by the Bybanen track, although this area has not been in the primary spotlight before. The reference situation for the groundwater and subsidence development can be described based on these investigations. Ongoing geotechnical and archaeological investigations in connection with the new zoning plan will complement this description.

Table 1 shows the reference situation for groundwater in existing monitoring wells in the area directly in front of Bryggen' s facade, measured in the period 2006 to 2010. The levels are calculated 5<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentiles for longer measurement series in these wells, published in the monitoring plan for Bryggen (NGU, 2010). Table 1 shows that the variations are relatively limited, and that the groundwater level is a few decimetres above the mean sea water level. There is no reason to assume that today's groundwater conditions are significantly different from those shown in table 1. It is expected that today's lowest groundwater level may be slightly higher and more stable after the water management measures were carried out along Bryggen' s facade. This is important for the preservation of archaeological deposits and possible moisture problems in buildings, but it is not relevant in relation to the risk of degradation and subsidence risk during the construction or operational phase of the Bybanen track.

*Table 1 Reference levels for groundwater in monitoring wells during 2006-2010 (note: reference acc. NN1954)*

Well nr.	Description	Reference low (m)	Reference median (m)	Reference high (m)
MB26	Bryggen 31, Enhjørningsgården	+0,16	+0,35	+0,58
MB25*	Bryggen 31, Enhjørningsgården	+0,15	+0,40	+0,63
MB27	Bryggen 23, Svensgården	+0,25	+0,44	+0,63
MB9	Bryggen 19, Holmedalsgården	+0,06	+0,17	+0,47

The hydrological conditions at the Bryggen World Heritage Site are defined by a complex interaction between tidal variations, groundwater flow from the area north-east of Bryggen and infiltration by rainfall. At the quayside area in front of Bryggen, groundwater conditions are strongly controlled by the tidal levels in the harbour, Vågen. Groundwater monitoring in this area shows locally large variations in groundwater dynamics, depending on the local permeability of the subsoil. In some places, a very good hydraulic connection has been demonstrated between the groundwater level directly in front of the facades and Vågen. At MB26, this connection was found above elevation +0.30 m above sea level, probably caused by water flow through one or more highly permeable subsurface drainage systems, such as pipeline trenches. Risk management and control during a possible construction phase, should consider that locally large variations in ground conditions can occur, and that this can affect the consequences of e.g., excavation measures or groundwater pumping.

To further reduce uncertainties related to archaeology and ground conditions between the World Heritage site and the Bybanen track, several new boreholes and environmental monitoring wells are currently being established in the quayside area, and partly instrumented with groundwater monitoring equipment. These monitoring wells will be located closer to Vågen than the existing wells. One may therefore expect that they will be more affected by the tides and show larger groundwater variations than the existing wells at Bryggen' s facade (table 1). At the same time, the average groundwater level will probably be lower, closer to the mean seawater level.

The existing environmental monitoring program at Bryggen includes regular monitoring of deformations on both buildings and terrain within the World Heritage area and spans over a time period of more than 2 decades. This is an excellent and detailed reference dataset for subsidence rates with regards to possible changes in the future. The latest monitoring report shows an average subsidence on the terrain at the front of Bryggen between 1 and 2 mm/year (measurement period 21 years). There are though annual and seasonal variations in subsidence rates that should be considered when determining an alarm value during a possible construction phase.

## Monitoring program during a construction phase

Subsidence risks because of changes in groundwater pressure, increase when the pressure becomes lower than the level to which the ground has been exposed to in the past. Decomposition of organic culture layers also increases sharply when the groundwater level drops, and the organic archaeological deposits are supplied with oxygen.

Along Bryggen's facade, the groundwater level should over time not become lower than the low reference value indicated in table 1 (5<sup>th</sup> percentile). This reference is therefore an important alarm value. When the groundwater drops below this value because of construction work, the work must be halted, the cause identified, and corrective measures implemented. Table 2 shows all recommended alarm values for MB26 and MB27 as stated in the monitoring plan for Bryggen. The upper alarm level is based on avoiding humidity problems in the front buildings. We recommend that the function of the existing environmental monitoring wells is checked, and that pressure sensors are installed in MB26 and MB27 before construction work commences.

*Table 2 Alarm values groundwater level (meters above sea level)*

Well nr.	Description	Lower alarm level	Preferred average level	Upper alarm level
MB26	Bryggen 31, Enhjørningsgården	+0,16 m	+0,35 m	+0,57 m
MB27	Bryggen 23, Svensgården	+0,25 m	+0,44 m	+0,53 m

The risk of subsidence in the outer quay area, along the Bybanen track, is expected to be lower both due to partly modern fill masses in the subsurface, and because existing and previous (tidal) groundwater level variations close to Vågen are larger. Nevertheless, groundwater drawdown should not be more than previously recorded levels. The reference situation in the outer quay area is further being documented through further ground surveys which are now being carried out in connection with the zoning plan. These investigations will document both archaeological, ground and groundwater conditions, and provide important knowledge for risk control.

Subsidence and degradation of archaeological deposits are the most important reasons why the excavation works related to the Bybanen track in front of the World Heritage site are planned to be carried out without groundwater extraction, in a wet trench and in short sections. This requirement will ensure that the reference situation is maintained. Without groundwater extraction during a construction phase, the risk of degradation of archaeological deposits and subsidence is virtually zero. If there should be a temporary need for local groundwater extraction, this must be carried out for short periods (hours to a maximum of a few days) and not over several weeks at a time. The groundwater levels in the quay area and in front of the World Heritage site should be monitored with continuous automatic sensors in both new (e.g., DS1-014) and existing environmental monitoring wells (MB26 and MB27). For new monitoring wells, alarm values must be established based on measurements in the year before the construction phase. For MB26 and MB27, table 2 can be used, if needed corrected when additional measurements become available.

The planned sheet pile wall along the Bybanen track is necessary for the safe execution of excavation work in a wet trench. It is expected that the sheet pile will result in a reduction of the groundwater level variations between the track and Bryggen's facade. This will be beneficial for the archaeological preservation conditions in this area and contribute to ground stability. The sensors in the above-mentioned monitoring wells will monitor and document the effects. If, contrary to expectations, the sheet pile wall should have a negative impact on groundwater conditions (e.g., a rise due to backwater), this will be captured by groundwater monitoring system. Mitigation measures (drainage) should then be implemented. Management of risk and the implementation of mitigating measures are described in previous reports on the risk management for cultural heritage along Bryggen.

During a construction phase, movements on Bryggen' s buildings and terrain subsidence at the quayside area should be monitored continuously, preferably with a total station theodolite (TST). Any increase in subsidence rates in relation to the reference situation (mapped through the current environmental monitoring program at Bryggen), shall result in an immediate halt of construction work, an assessment of the cause, followed by mitigating measures. In the detailed planning phase, alarm values must be set for subsidence rates for buildings and terrain.

#### **Environmental monitoring program 10 years after a construction phase**

We recommend that the existing environmental monitoring program at the World Heritage site Bryggen is expanded with permanent monitoring of at least 2 monitoring wells along the quayside, e.g., MB26 and DS1-014. The total monitoring program then includes documentation of the groundwater conditions between the Bybanen track and the World Heritage site and ensure that any changes are detected before negative consequences for archaeological deposits (degradation) and/or damage because of subsidence occur. Alarm values during the operational phase are equal to the alarm values during a construction phase.

The environmental monitoring program should include a monitoring point at the Hanseatic Museum. We further refer to NIKU's advice on the drilling locations for archaeological investigations (including construction of environmental monitoring wells) to obtain a better knowledge base on the extent, depth, and condition of the archaeological deposits.

In the operational phase, continuation of the subsidence measurements as currently implemented in the environmental monitoring program at Bryggen is considered sufficient for detection and follow-up of any long-term consequences.