Downloaded from orbit.dtu.dk on: Apr 25, 2024

DTU Library

Bakteriesensor til on-line identifikation/bestemmelse af mikrobiel drikkevandskvalitet

Bentien, Anders; Tilsted Mogensen, Claus; Østergaard, Else-Marie; Vang, Óluva Karin; Albrechtsen, Hans-Jørgen

Publication date:
2011

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link back to DTU Orbit

Citation (APA):
Bentien, A., Tilsted Mogensen, C., Østergaard, E-M., Vang, Ó. K., & Albrechtsen, H-J. (2011). *Bakteriesensor til on-line identifikation/bestemmelse af mikrobiel drikkevandskvalitet*. Miljøministeriet. http://www.nst.dk

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Bakteriesensor til on-line indikation/bestemmelse af mikrobiel drikkevandskvalitet

Maj 2011

Kolofon

Titel:
Bakteriesensor til on-line indikation/bestemmelse af mikrobiel drikkevandskvalitet

Emneord:
Online/realtime målinger af drikkevand, drikkevandskvalitet, sensor, drikkevandsovervågning

Udgiver:
Naturstyrelsen

Ansvarlig institution:
Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Forfattere:
Anders Bentien & Claus Tilsted Mogensen, Grundfos, Else-Marie Østergaard, Århus Vand, Óluva Karin Vang & Hans-Jørgen Albrechtsen, DTU Miljø

Andre bidragsydere:
Mogens Lau og Kåre Iversen, Grundfos, Ann-Katrin Pedersen, Københavns Energi

Sprog:
Dansk

År:
2011

URL:
www.nst.dk

ISBN nr. elektronisk version:
978-87-7279-165-4

Versionsdato:
Maj 2011

Udgiverkategori:
Statslig

Resume:
Der er udviklet en prototype sensor, som på minutbasis kan måle det totale antal bakterier og partikler i drikkevand og kan differentiere mellem dem. Rapporten indeholder de indledende resultater fra online afprøvning af prototypesensorerne på drikkevand hos henholdsvis Københavns Energi og Århus Vand.

Må citeres med kildeangivelse.

Ansvarsfraskrivelse:
Naturstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af Naturstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Naturstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Naturstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik

INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord 4
Sammenfatning 5
Indledning 5
Prototypesensorer 7
Laboratorie målinger 7
Resultater af feltundersøgelser 10
Frydenlund, Århus Vand 10
Tinghøj, Københavns Energi 12
Brugererfaringer ved Århus Vand og Københavns Energi 15

Forord

I efteråret 2008 var der ved By- og Landskabsstyrelsen ansøgningsrunde til midler fra *Udviklingspuljen til sikring af Danmarks fremtidige vandforsyning*. Her ansøgte Grundfos med *projektet Bakterietæller til on-line indikation/bestemmelse af mikrobiel drikkevandskvalitet*, om midler til delvis finansiering af feltundersøgelser og evaluering af brugererfaringer af en ny teknologi til online-måling af den totale bakterie koncentration. Projektet er et samarbejde mellem

Anders Bentien, Claus Tilsted Mogensen, Mogens Lau og Kåre Iversen, Grundfos
Else-Marie Østergaard, Århus Vand
Ann-Katrin Pedersen, Københavns Energi
Óluva Karin Vang & Hans-Jørgen Albrechtsen, DTU Miljø

Gunver Heidemann har været By- og Landskabsstyrelsens kontaktperson for projektet.

Sammenfatning

Over det meste af verden defineres den mikrobielle drikkevandskvalitet primært på baggrund af grænseværdier for *E. coli*, coliforme bakterier og kimtal. Anvendelsen af den totale bakteriekoncentration til bestemmelse af mikrobiel drikkevandskvalitet er (af historiske årsager) ikke udbredt og primært begrænset til forskningsprojekter. Grundfos har i samarbejde med Københavns Energi, Århus Vand og DTU Miljø foretaget feltundersøgelser af prototype sensorer, som kontinuert måler den totale bakteriekoncentration i drikkevand på minutbasis. Via en netværksforbindelse rapporteres resultaterne online på en brugerflade som er installeret på PC ved bla. vandforsyningerne.

De indledende resultater viser variationer i den mikrobielle drikkevandskvalitet ned til minut basis. Disse ses normalt ikke, da drikkevandsprøver højst udtages på daglig basis. Derudover indikerer de indledende resultater, at der er en sammenhæng mellem output fra sensoren og kimtal. Københavns Energi og Århus Vand ser et stort perspektiv i sensorerne, men ultimativt skal det påvises, at sensorerne giver dem værdi i form af, at de er i stand til at detektere eventuelle overskridelser af mikrobielle grænseværdier for vandkvaliteten.

Indledning

Den mikrobielle drikkevandskvalitet har de seneste år haft stor bevågenhed i Danmark og udlandet. Dette skyldes ikke mindst tilfælde af forureninger af drikkevandsforsyninger, som har medført smitte med patogene mikroorganismer. Derudover er der ved at fremkomme den opfattelse, at drikkevand skal behandles på sam-me måde som fødevarer og, at kvalitetskontrollen skal øges. Dette omfatter bla. forbedring af procedurer til sikring mod (mikrobielle) forureninger og ultimativt, at der anvendes on-line sensorer til overvågning af den mikrobielle drikkevandskvalitet. I den henseende er vandforsyningernes største ønske en on-line og real-time *E. coli* og coliform bakteriesensor. Tilstedeværelsen af disse bakterier anvendes i dag som indikatorer for en forurening og lovgivningen over hele verden baserer drikkevandskvaliteten på baggrund af tilstedeværelsen af disse.

Med det nuværende teknologiske stadie in mente vil en on-line og real-time E. coli og coliform bakteriesensor med en detektionsgrænse ned til 1 bakterie per 100 mL i mange år fremover ikke være realistisk. På nuværende tidspunkt er automatiserede laboratoriemetoder som baserer sig på Colilert eller Colifast og lignende tests state-of-the-art på dette område. De største svagheder ved denne type sensorer er først og fremmest at, vandprøven skal inkuberes i 18 timer og dermed ikke er real-time. Dernæst skal der tilsættes kemikalier og endvidere giver kompleksiteten af metoden en størrelse (og pris) som vanskeliggør udbredelsen af denne type sensorer til få strategisk vigtige steder i vandforsyningen.

Som et alternativ til dette har Grundfos udviklet en prototype sensor som, uden tilsætning af kemikalier og på minutbasis, kan måle både det totale antal af bakterier og partikler i drikkevand og kan differentiere mellem dem. Den grundlæggende hypotese er, at det totale antal bakterier i vandet giver et udtryk for den mikrobielle drikkevandskvalitet og vil kunne anvendes til kontinuert overvågning.

Denne antagelse er understøttet af, at det totale antal bakterier målt ved direkte tælling i mikroskop hvor bakterierne (f.eks. med fluorescerende DAPI eller AODC) -, i videnskabelig litteratur, ofte bruges som en parameter for den mikrobielle drikkevandskvalitet. Den primære anvendelse af sensoren vil derfor være at bruge den som en *early-warning* sensor med stor udbredelse i distributionsnetværk, beholderanlæg, trykforøgelsesanlæg, vandværker samt til måling af råvand. Indikerer sensoren en ændring af den mikrobielle drikkevandskvalitet, vil dette skulle opfølges med en manuel måling på en vandprøve i laboratoriet for at afgøre om grænseværdierne for E. coli, coliforme eller kimtal er overskredet. Eller om der alternativt er andre tiltag som skal udføres for at sikre, at den mikrobielle vandkvalitet er tilfredsstillende.

Denne rapport viser de første resultater af feltundersøgelser af prototype sensoren, som kontinuert måler total antal bakterier i drikkevand på minutbasis.

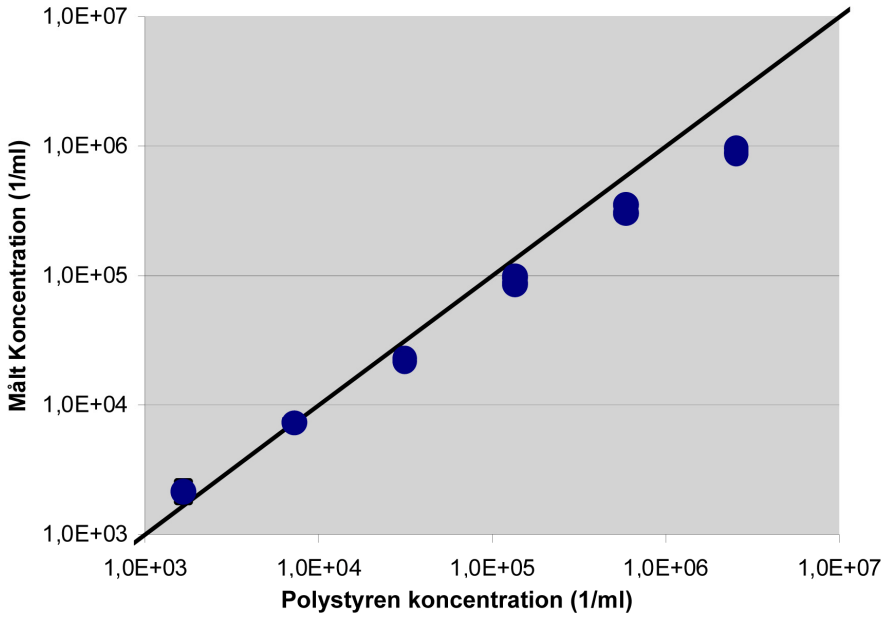
Feltundersøgelser og prototype sensorer er delvist finansieret af By- og Landsskabsstyrelsen, Miljøministeriet.

Prototypesensorer

Sensorerne måler det totale antal bakterier og partikler på minutbasis (2 – 20 minutter), samt størrelsen og excentriciteten af den enkelte bakterie eller partikel. Excentriciteten er defineret som den korteste dimension divideret med den længste dimension af partiklen/bakterien. I forbindelse med feltundersøgelser er der også målt tryk og temperatur af vandet. Sensorerne kan kommunikere trådløst eller over fast netværk. Der er udviklet et program som muliggør real-time overvågning/visualisering af data på en PC som er netværksforbundet via GPRS.
De to sensorer som er installeret ved Københavns Energi har også indbygget sensor til måling af tryk og temperatur af vandet.

Laboratorie målinger

Indledende resultater af prototypesensorer er opsummeret i figur 1 og tabel 1. Figur 1 viser resultaterne af tests af det koncentrations-måleområde som sensoren virker i. Der er målt på 1,0 μm polystyren (PS) kugler i koncentrationsområdet fra ca. $1 \cdot 10^3$ ml^{-1} til ca. $2{,}5 \cdot 10^6$ ml^{-1}. PS-kugler er standard i forbindelse med karakterisering af partikeltællere. For lave ($<1 \cdot 10^5$ ml^{-1}) koncentrationer er der er god overensstemmelse mellem den målte koncentration og den reelle koncentration af PS-kuglerne. Dvs. detektionseffektiviten er tæt på 100 % for 1,0 μm polystyren kugler indenfor usikkerhederne. For høje koncentrationer ($>1 \cdot 10^5$ ml^{-1}) måler sensoren en-



Figur 1. Dynamisk måleområde og detektionseffektivitet af sensoren målt med 1 μm polystyren (PS) kugler. Standardafvigelsen på målingen er af samme størrelse eller mindre end størrelsen på datapunktet. Den sorte linje viser forholdet 1:1. Målingerne er foretaget med en tidlig version af sensoren, i feltundersøgelserne er der brugt en version hvor det dynamiske måleområde er forbedret.

lavere koncentration end den nominelle PS koncentration. Afvigelsen stiger med koncentrationen og er en begrænsende faktor for hvor høje koncentrationer der kan måles uden at måledata skal korrigeres. Samme effekt ses for partikeltællere hvor den såkaldte coincidence-effekt allerede indtræder ved ca. $1 \cdot 10^4$ ml^{-1} eller lavere. Målingerne, som er vist i Figur 1, er foretaget på et tidligt setup af prototype sensoren. Den version som er brugt i feltundersøgelser har et forbedret dynamisk koncentrationsmåleområde, dokumentationen er dog endnu ikke færdiggjort.

Tabel 1 sammenligner bakteriekoncentrationen målt ved direkte mikroskopitælling vha. DAPI farvning og bakteriekoncentration målt i prototype sensoren på tre forskellige drikkevandsprøver. DAPI farvning er en standard laboratorie metode til mikroskopitælling af bakterier.

Sensoren detekterer omkring 55 % af de bakterier, som måles med mikroskopitælling (DAPI farvning). Denne afvigelse skyldes primært, at detektionseffektiviteten af sensoren falder, når størrelsen på bakterien/partiklen bliver mindre end ca. 0,5 μm. Bakterier i vand har typisk størrelsen fra 0,3 μm til 3 μm.

Forskellige målinger fra litteraturen og egne data (ikke vist) viser, at den normale totale bakteriekoncentration i drikkevand typisk varierer fra ca. $1 \cdot 10^4$ ml^{-1} til ca. $1 \cdot 10^5$ ml^{-1} afhængig af hvilken boring som vandet stammer fra, hvor i vandbehandlingsprocessen eller distributionsnetværket prøven tages og hvor gammelt vandet er.

Vand prøve	DAPI bakterie koncentration ($x10^4/ml^{-1}$)	Sensor bakterie koncentration ($x10^4/ml^{-1}$)	Sensor konc. / DAPI konc.
1	12,5 (4,0)	7,0 (0,2)	0,56
2	12,1 (4,6)	6,8 (0,6)	0,56
3	13,0 (3,3)	6,7 (1,0)	0,52

Tabel 1. Sammenligning af bakteriekoncentration målt ved total direkte mikroskopitælling med DAPI farvning og bakteriekoncentration målt i sensor. Tal i parentes er standardafvigelse på målingen. Kolonnen Sensor konc. /DAPI konc. angiver forholdet mellem antallet af bakterier målt med de to metoder. Der er målt tre prøver, som er udtaget i forskellige bygninger. Sensoren detekterer ca. 55 % af de bakterier, som måles ved DAPI. Denne (konstante) afvigelse skyldes primært, at detektionseffektiviteten af sensoren falder, når størrelsen af bakterien kommer under ca. 0,5 μm. Bakterier i vand har typisk størrelsen 0,3 μm – 3 μm.

Laboratoriekarakteriseringen af sensoren viser, at det dynamiske måleområde for sensoren dækker det koncentrationsområde, som forventes i drikkevand. Derudover detekteres ca. 55 % af alle bakterier i vandet i forhold til måling ved mikroskopitælling (DAPI farvning). Denne afvigelse har ikke nogen indflydelse på sensoren som en indikator for mikrobiel vandkvalitet, i og med at det må forventes at den totale bakteriekoncentration, som detekteres med prototypen, er proportional med mikroskopi målingerne (som også er indikeret af data i tabel 1). Til sammenligning ses kun omkring 0,01 – 1 % af de totale bakterier ved kimtalsmålinger.

Resultater af feltundersøgelser

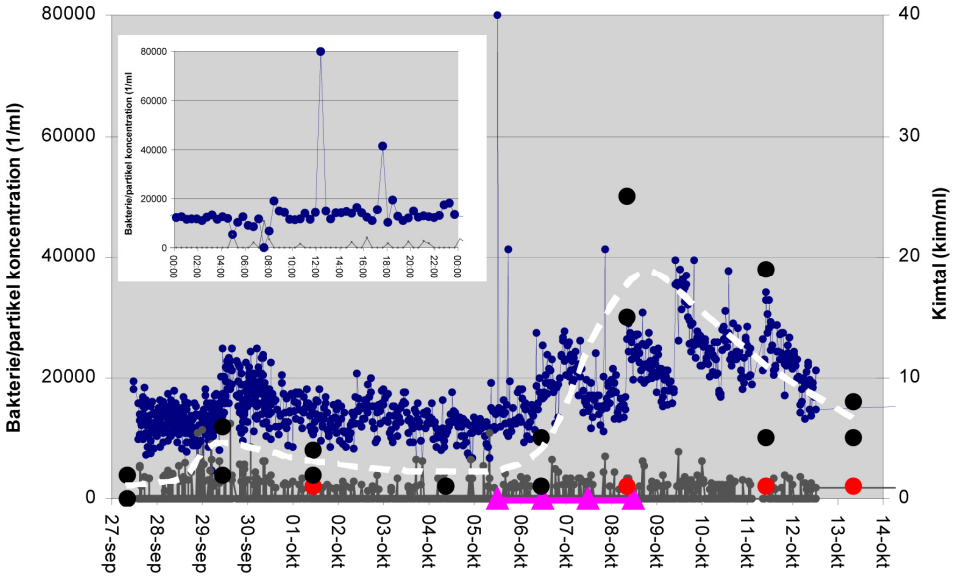
I nærværende periode er der installeret tre prototype sensorer. En på udgangen af Frydenlund, som er et trykforøgelses/beholder-anlæg med maksimum kapacitet på 12.000 m^3 ejet af Århus Vand (ÅV). Vandet på indgangen til Frydenlund stammer hovedsagligt fra Stautrupværket. Inden vandet når Frydenlund kommer igennem en forbrugszone (nr. 50). Udgangen fra anlægget sker til forbrugszone 105 og 80. Prototype sensoren er placeret på z105 udgangen. Ved Frydenlund er der i testperioden, på udgangen z105, ugentligt udtaget tre dobbelte stikprøver umiddelbart efter hinanden. Der er målt kimtal22, kimtal37 samt *E. coli* og coliforme bakterier med standard metoder. Desuden er der flere gange i testperioden analyseret på volumenprøver udtaget/filtreret over 24 timer for *E. coli* og coliforme.

Derudover er der installeret to sensorer ved Tinghøj I og II som henholdsvis er udgangen og indgangen til beholderanlægget ved Tinghøj, som er ejet af Københavns Energi (KE) og som forsyner en stor del af København med drikkevand. Vandet på indgangen til Tinghøj kommer fra Søndersø og Slangerup vandværker, som ligger henholdsvis ca. 15 km og ca. 30 km fra Tinghøj. Der er i feltundersøgelsesperioden målt kimtal22, kimtal37 samt *E. coli* og coliforme bakterier med standard metoder. Derudover er der også på døgnbasis filtreret ca. 100 L vand gennem filter, som derefter er analyseret for E. coli og coliforme bakterier i et laboratorium. Denne metode muliggør en nominel detektion ned til 0,001 coliforme eller E. coli bakterier per 100 mL. Dvs. at detektionsgrænsen er en faktor 1000 større end standardmetoden.

Frydenlund, Århus Vand

Der er i perioden 27. september til 13. oktober 2010 målt på Frydenlund. De overordnede resultater ses i Figur 2, hvor bakterie og partikel koncentrationen er vist sammen med kimtal22 og kimtal37.

I hele perioden er antallet af uorganiske partikler lavt og typisk under $0{,}5 \cdot 10^4$ partikler/ml dog med nogle få undtagelser. Derudover ses der ingen korrelation mellem antallet af bakterier og uorganiske partikler. I begyndelsen af perioden ligger bakteriekoncentrationen på ca. $1{,}5 \cdot 10^4$ bakterier/ml, omkring 29. september sker en lille stigning over et par dage, som igen falder til ca. $1{,}5 \cdot 10^4$ bakterier/ml. Omkring 5. oktober begynder der at ske store udsving af meget kort varighed. Specielt er der et udsving, hvor bakteriekoncentrationen når op på $8 \cdot 10^4$ bakterier/ml mellem kl. 12 og 13. Varigheden af udsvinget er mellem 0 – 40 minutter, der er målt hvert 20. minut. Derudover ses en generel stigning som når sit maksimum mellem 9. og 11. oktober, for derefter at falde igen. Data, som er optaget i november/december (ikke vist), viser et nogenlunde konstant bakterieniveau på ca. $2 \cdot 10^4$ bakterier/ml uden store enkeltudsving af den størrelse som ses i oktober.



Figur 2. Bakterie (blå datapunkter) og partikel koncentration (grå datapunkter) (venstre y-akse) og kimtal (højre y-akse) i perioden 27. september 2010 til 14. oktober 2010 ved Frydenlund, Århus. Sorte datapunkter er kimtal22 (King B), mens røde datapunkter er kimtal37 (PCA). Hvidstiblet linie er indikativ trend af udviklingen af kimtal22 med tiden. Den indsatte figur viser samme data men i en 24-timers periode fra 5. oktober 00:00 til 6. oktober 00:00. De lilla forbundne trekanter viser de dage hvor der var inspektion/rengøring af og dykkere i vandbassinet.

Kimtal22 viser samme tendens over tid som den totale bakteriekoncentration og er indikeret med den stiplede linje. De få datapunkter for kimtal22 kan dog ikke give nogle klare konklusioner for sammenhængen. Kimtal37 er konstant og under detektionsgræsen på 1 kim/ml i perioden og der kan dermed ikke fastslås nogen sam-menhæng med den total bakteriekoncentration. Dette er i overensstemmelse med andre resultater som viser at kimtal37 typisk er lavere end kimtal22. Bla. i fortyndingsrækker af vand med spildevand, hvor udslag i kimtal22 ses ved lavere spildevandskoncentrationer end kimtal37 (BactiQuant_- en mikrobiologisk hurtigmetode Erfaringer fra dansk vandforsyning, Danva Notat 2009, s. 36). Koncentrationen for *E. coli* og coliforme bakterier (ikke vist i figur 2) var under detektionsgrænsen på 1 *E. coli*/coliforme bakterier per 100 ml og der kan dermed her heller ikke fastslå nogen korrelation mellem den totale bakterie koncentration og *E. coli*/coliforme bakterier.

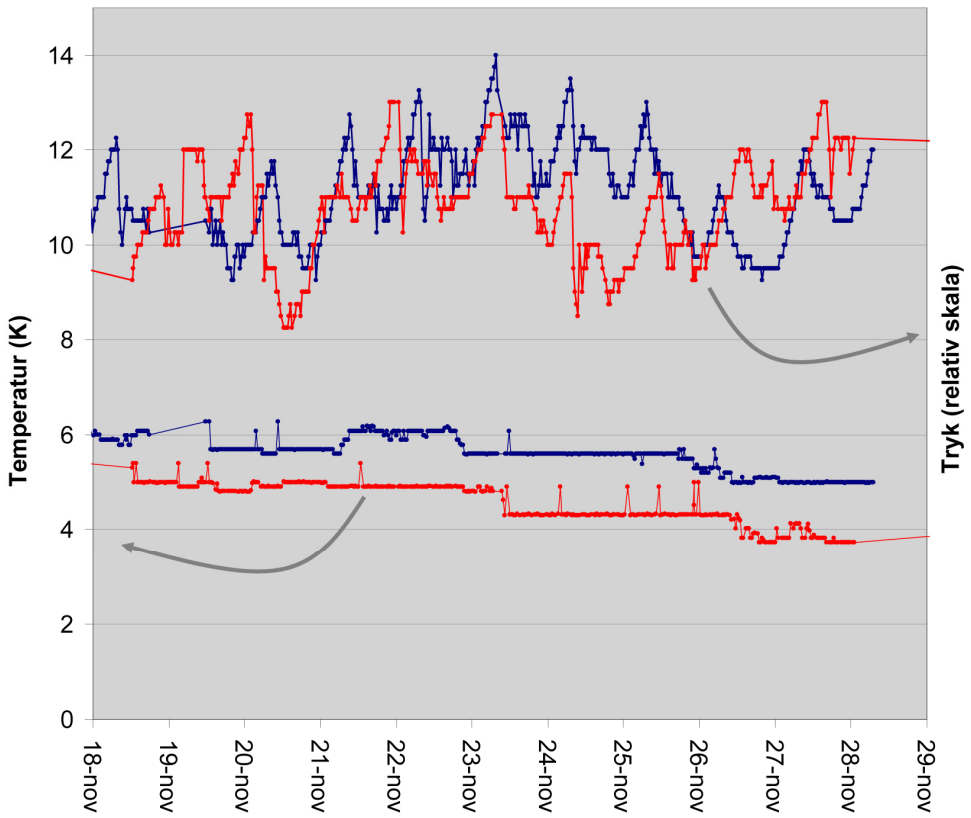
I perioden 5. oktober til 8. oktober var der dykkere i vandbassinet ved Frydenlund for at inspicere og rengøre. Der ses en klar sammenhæng mellem den totale bakteriekoncentration som måles i sensoren og dykkeraktiviteten. De store udsving i bakteriekoncentrationen kan tolkes som at dykkeren får hvirvlet rundt i sedimenteret biofilm/bakterier tæt ved udløbet af bassinet som derved kommer med i udgangen på Frydenlund og måles i sensoren. Den generelle stigning efter 9. oktober kan tolkes som, at ophvirvlet biofilm/bakterier langsomt kommer med hen til udløbet.

På baggrund af de foreløbige data har vi følgende konklusioner:

- Ved Frydenlund er der er indikation af en sammenhæng mellem kimtal22 og den totale bakteriekoncentration. Dette er interessant i og med at kimtal22 er en af de indikatorparametre, som definerer den mikrobielle vandkvalitet i henhold til drikkevandsbekendtgørelsen og er underlagt grænseværdier.

- Der er store udsving (større end standardafvigelsen på målingen) i bakteriekoncentrationen som varierer på minutbasis, timebasis og døgnbasis. I bedste tilfælde vil der på en installation i et distributionsnetværk udtages manuelt vandprøve en gang per dag (i hverdage). Der vil derfor være et element af tilfældighed, hvis variationer på minut- og time-basis skal detekteres. Daglige/ugentlige stikprøver giver derfor kun et øjebliksbillede af drikkevandskvaliteten i det øjeblik, hvor prøven bliver udtaget.
-

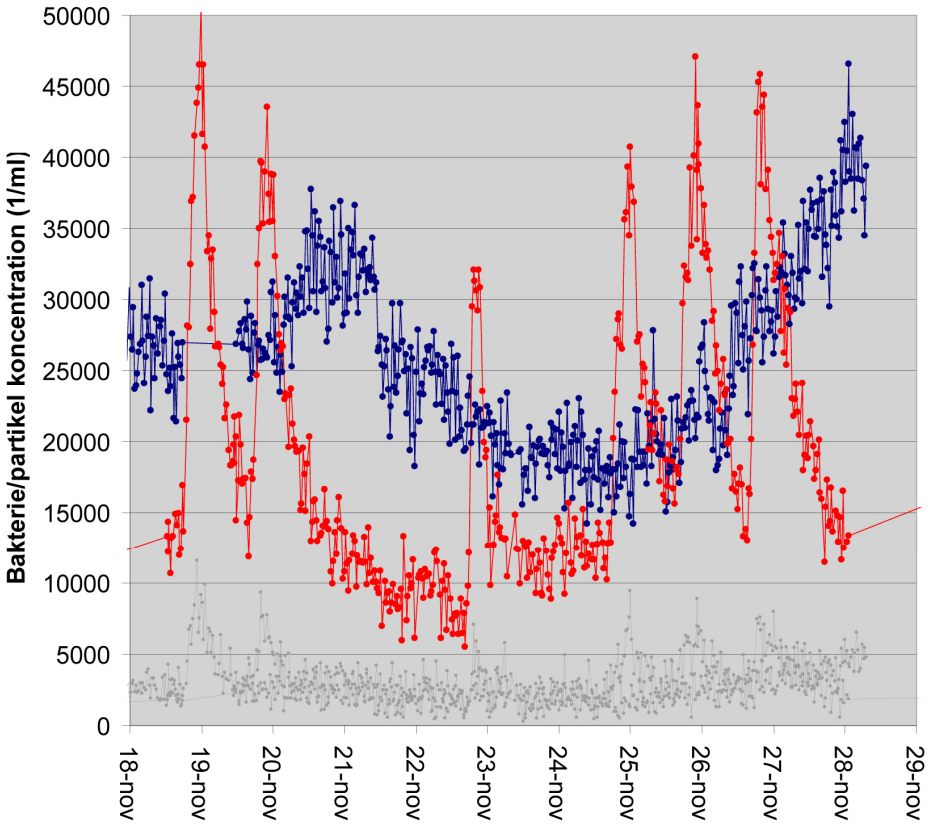
Tinghøj, Københavns Energi



Figur 3. Vand temperatur og tryk ved Tinghøj 1 (blå datapunkter, udgang) og 2 (røde datapunkter, indgang) i perioden 18. november 2010 til 29. november 2010. Venstre y-akse angiver temperaturen, mens højre y-akse angiver det relative vandtryk.

Fra 18. nov. til 29. nov. er der installeret to sensorer ved Tinghøj. Den ene sensor er installeret ved indgangen (Tinghøj 2), mens den anden er installeret ved udgangen til distribution (Tinghøj 1). Resultaterne fra feltundersøgelsen er vist i figur 3 og

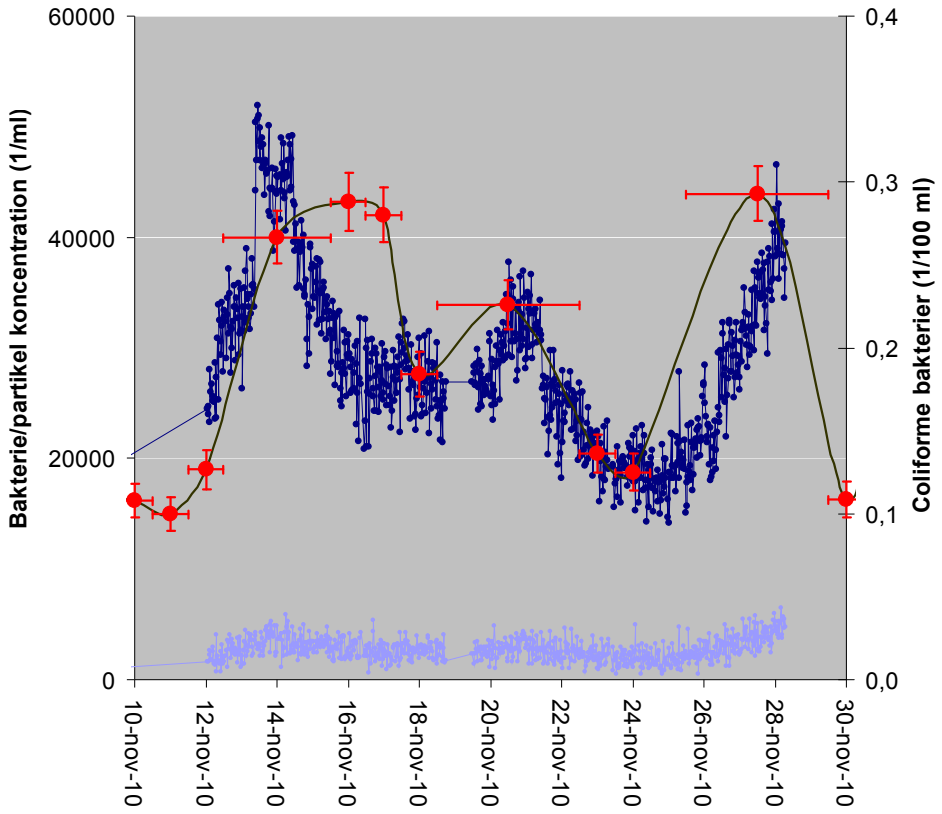
4 som viser henholdsvis tryk/temperatur og bakterie/partikel koncentration i løbet af feltundersøgelsesperioden. Tryk og temperatur data er inkluderet i denne rapport for at vise at bakterie og partikel koncentrationen er uafhængig af disse to parametre.



Figur 4 Bakteriekoncentration i vandet ved Tinghøj 1 (blå datapunkter, udgang) og Tinghøj 2 (røde datapunkter, indgang) i perioden 18. november 2010 til 29. november 2010. Grå datapunkter angiver partikelkoncentrationen ved både Tinghøj 1 og 2 (data overlapper). Målingerne er sammenfaldende med dem som er vist i figur 3. Der ses ingen systematisk sammenhæng mellem driftsparameterne (tryk og temperatur) og den totale bakteriekoncentration.

Figur 4 viser bakterie og partikel koncentrationen. Som ved Frydenlund i Århus ligger partikel koncentrationen lavt og nogenlunde konstant med en værdi på $0{,}2 \cdot 10^4$ – $0{,}4 \cdot 10^4$ partikler/ml. Indgangen til Tinghøj viser store udsving i bakteriekoncentrationen, fra $1 \cdot 10^4$ bakterier/ml til $5 \cdot 10^4$ bakterier/ml, over perioder på et til flere døgn. Denne variation kan relateres til driftmæssige forhold på de to vandværker Søndersø og Slangerup i forbindelse med returskyl på sandfiltre. Udgangen fra Tinghøj viser derimod mere moderate udsving, fra $2 \cdot 10^4$ bakterier/ml til $3 \cdot 10^4$ bakterier/ml. Størrelsen af bakteriekoncentrationen på indgang og udgang er sammenlignelige og passer meget godt med forventningen om, at der ikke sker en stor bakterievækst i beholderanlægget på Tinghøj. Derudover ses der en tendens til at en

forøgning i bakteriekoncentrationen på indgangen kan aflæses i sensoren på udgangen med ca. 1-2 dages forsinkelse, i overensstemmelse med den gennemsnitlige gennemløbstid, som er af størrelsesordenen (en) dag(e). De store udsving i bakteriekoncentrationen ved indgangen til Tinghøj ses ikke ved udgangen, dette skyldes at der i beholderanlægget foregår en blanding af vandet som udvisker disse udsving.



Figur 5. Bakterie- (blå datapunkter) og partikelkoncentration (grå datapunkter) (venstre y-akse) og coliforme bakterier (røde datapunkter højre y-akse) i perioden 10. november 2010 til 30. november 2010 ved Tinghøj 1. Sort linje er indikativ trend af coliforme bakterier med tiden. Koncentrationen af coliforme bakterier er bestemt ved at filtrere ca. 100 L vand over en periode på ca. 1 døgn, hvorefter filteret bliver analyseret i laboratorium. Afvigelsen af koncentrationen er bestemt ud fra tælletallet, mens afvigelsen på tidsaksen er sat lig med tiden, som filteret har været brugt til filtrering.
Koncentrationen af coliforme bakterier ved indgangen til Tinghøj er i samme periode en faktor 5-10 lavere og har en størrelse på ca. 0,02-0,04 coliforme bakterier/100 ml. Koncentrationen af E. coli målt ved filtrering af 100 L viser i hele perioden < 0,001 E. coli/100 ml for både indgang og udgang, dog med enkelt undtagelse hvor den er 0,002 E. coli/100 ml. Koncentrationen af E. coli og coliforme bakterier målt med standard metoden er i hele perioden < 1 E. coli/coliform/100 ml.

Figur 5 viser output fra sensoren ved udgangen (Tinghøj 1) i perioden 10. november til 30. november (samme data er vist i figur 3, dog kun i perioden 18-29. nov). Derudover vises også koncentrationen af coliforme bakterier, som er opnået ved filtrering af 100 L vand over et døgn. Der ses en indikation af en sammenhæng mellem den totale bakteriekoncentration og coliforme bakterier.

De tre toppe (og dale), som ses i den totale bakterie koncentration, ses også i koncentration af coliforme bakterier. Dette resultat er en smule overraskende og er umiddelbart i modstrid med fortolkningen om, at variationen i den totale bakteriekoncentration på udgangen primært er et resultat af variation på indgangen (se figur 4). Hvad der er den rigtige fortolkning er på basis af de nuværende data ikke muligt at konkludere, videreførte feltundersøgelser de kommende måneder vil være med til at afklare dette.

På baggrund af nuværende data er vores konklusioner at den totale bakteriekoncentration ved indgangen til Tinghøj beholderanlægget varierer kraftigt med perioder på flere døgn. Variationen kan forklares med driftsforhold på de tilknyttede vandværker. Ændringerne i koncentrationen ses også på udgangen af Tinghøj, dog med en forsinkelse på 2-4 dage, som er sammenligneligt med den gennemsnitlige opholdstid i beholderanlægget. Derudover er de markante toppe i den totale bakteriekoncentration ved indgangen forsvundet/udvisket ved udgangen, som forventet, når vandet er blandet op i beholderanlægget efter nogle dage.

Det mest overraskende resultat er en indikativ sammenhæng mellem koncentrationen af coliforme bakterier, fundet ved 100 L volumenprøver, og den totale bakteriekoncentration på udgangen. Der er ingen nærliggende forklaringer på denne sammenhæng og kan vise sig at være en tilfældighed.

Brugererfaringer ved Århus Vand og Københavns Energi

Via en trådløs GPRS netværksforbindelse kan resultaterne rapporteres realtime / online. I den forbindelse er der udviklet en brugerflade som visualiserer data online ved brugerne (ÅV og KE). Brugerfladen kan installeres på flere computere samtidig og kobles til flere sensorer samtidigt. Den primære funktion af brugerfladen er at vise bakterie- og partikelkoncentrationen som funktion af tiden således at ændringer i disse over tiden nemt kan ses. Figur 6 viser et skærmprint af brugerfladen hvor data fra Tinghøj 2 er brugt som eksempel.

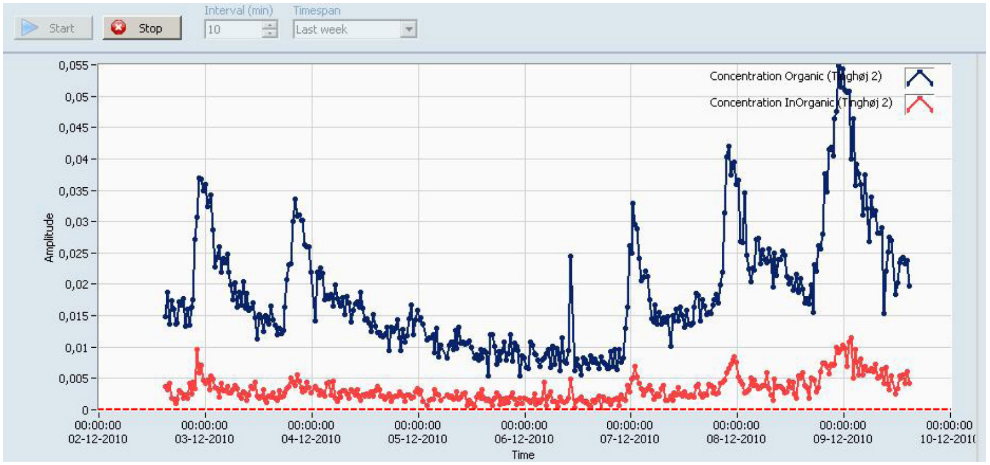
Både KE og ÅV ser et stort potentiale i sensoren. Der er specielt to forhold som gør sig gældende. A. Sensoren muliggør on-line overvågning af den mikrobielle drikkevandskvalitet på minutbasis og åbner helt nye muligheder for at reagere på ændringer i den mikrobielle drikkevandskvalitet. I dag foretages der højest daglige målinger på udvalgte/strategiske steder. De foreløbige data viser, at der sker variationer på minut- og timebasis, som ikke ville blive målt ved standard metoderne. Derudover går der typisk 1-3 dage fra prøven er udtaget, til resultatet foreligger.

Hvis robustheden er stor og serviceperioden er lang for sensoren, er det KE's og ÅV's vurdering, at sensoren kan få stor udbredelse. Det kan være ved/på

- boringer/eller indgange på vandværker hvor ændringer af den mikrobielle drikkevandskvalitet kan være udtryk for indtrængen af overfladevand i boringen

- vandværker til detektion af forureninger forårsaget under vandbehandlingsprocessen og/eller (drifts)-overvågning af sandfiltre

- -beholderanlæg, trykforøgelsesanlæg, brønde og lignende i distributionsnetværket til overvågning af ændringer i den mikrobielle vandkvalitet på grund af forureninger forårsaget af indtrængende spilde- eller overfladevand.



Figur 6. Skærmprint af program som modtager data online fra sensorer og som bla. er installeret ved de relevante personer ved Århus Vand og Københavns Energi. Blå datapunkter er bakteriekoncentrationen, mens de røde datapunkter er partikelkoncentrationen (tallet skal ganges med 10^6 for at få koncentrationen per ml).

I og med at sensoren er relativt tæt på forbrugeren, vil sensorer placeret på disse steder ultimativt kunne forhindre, at forurenet vand når ud til forbrugeren.

B.
Det er KE og ÅV's vision, at der er stort antal af sensorer i hele vandforsyningssystemet/distributionsnetværket til kontinuert overvågning af den mikrobielle drikkevandskvalitet. Før KE og ÅV vil udbrede denne type sensorer, vil det ultimativt være påkrævet, at det er påvist, at sensoren vil kunne detektere en mikrobiel ændring af drikkevandskvaliteten, som også registreres med standard metoderne (E. coli/coliforme bakterier og kimtal).

Overskridelser af mikrobielle grænseværdier i drikkevand sker yderst sjældent, og det ville være et 'heldigt tilfælde', hvis at der i feltundersøgelsesperioden skulle opstå en situation, hvor der er overskridelser af grænseværdier på samme sted, hvor sensorerne på nuværende tidspunkt er placeret.

På en kortere tidshorisont er det KE og ÅV's vurdering, at laboratorieundersøgelser, hvor total bakteriekoncentration fra sensoren sammenlignes med standardme-

toder (E. coli, coliforme og kimtal), i f.eks. vand tilsat spildevand, vil afgøre, om KE og ÅV vil købe nogle enkelte sensorer til evaluering. Dette forudsætter, at sensoren giver udslag på spildevandskoncentrationer, som er sammenlignelige med standardmetoderne.