

# Manual om arsen i dansk drikkevand

med forslag til løsninger

**Titel:** Manual om arsen i dansk drikkevand - med forslag til løsninger

**Resumé:** I manualen beskrives udbredelsen af naturligt dannet arsen i dansk grundvand. Risici forbundet med indtag af drikkevand med høje indhold af arsen omtales kort, og der anvises såvel hydrogeologiske som vandrensningsteknologier til at reducere drikkevandets indhold af arsen. Økonomiske overslag ved anvendelsen af metoder præsenteres.

**Forfatter:** Flemming Larsen og Claus Kjøller, GEUS og Loren Ramsay, Alectia A/S

**URL:** [www.blst.dk](http://www.blst.dk)

**Emneord:** Arsen, drikkevand, vandrensning, grundvand, råvand

**ISBE:** 978-87-92548-67-2

**ISBN:** 978-87-92548-68-2

**Rådgiver:** Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

**Udgiver:** By- og Landskabsstyrelsen

**Udgiverkategori:** Statslig

**År:** 2009

**Version:** 1

**Versionsdato:** September 2009

**Sprog:** Dansk

**Copyright©** Må citeres med kildeangivelse.  
By- og landskabsstyrelsen, Miljøministeriet

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



# Indhold

Hvem skal læse denne manual? .....	2
Arsen i dansk grundvand.....	2
Arsen i dansk drikkevand .....	4
Hvorfor skal vi bekymre os om arsen i dansk drikkevand? .....	5
Kontrol af arsen i drikkevand.....	5
Typer af løsninger.....	6
Løsningstype A: Optimering af indvinding fra eksisterende boringer .....	6
Løsningstype B: Etablering af nye indvindingsboringer.....	7
Løsningstype C: Rensning af råvand for arsen .....	7
Løsningstype D: Sammenlægning eller samarbejde med andet vandværk	8
Hvordan vælger man den rigtige løsning? .....	10
A1 - Boringsprioritering .....	12
A2 - Aflukning af dele af filtret.....	13
A3 - Egentlig sløjfning af boring.....	14
B1 - Boring til en anden dybde .....	15
B2 - Flytning af kildeplads.....	16
C1 - Filtrering med jerngranulat .....	17
C2 - Jerndosering på eksisterende filter .....	19
C3 - Jerndosering og ombygning til dobbeltfiltrering .....	21
C4 - Jerndosering ved anlæg af nye filtre.....	23
D1 - Køb af vand.....	26
D2 - Nedlægning af kildeplads.....	27
D3 - Sammenlægning af vandværker .....	27
Yderligere informationer, herunder om slam .....	28

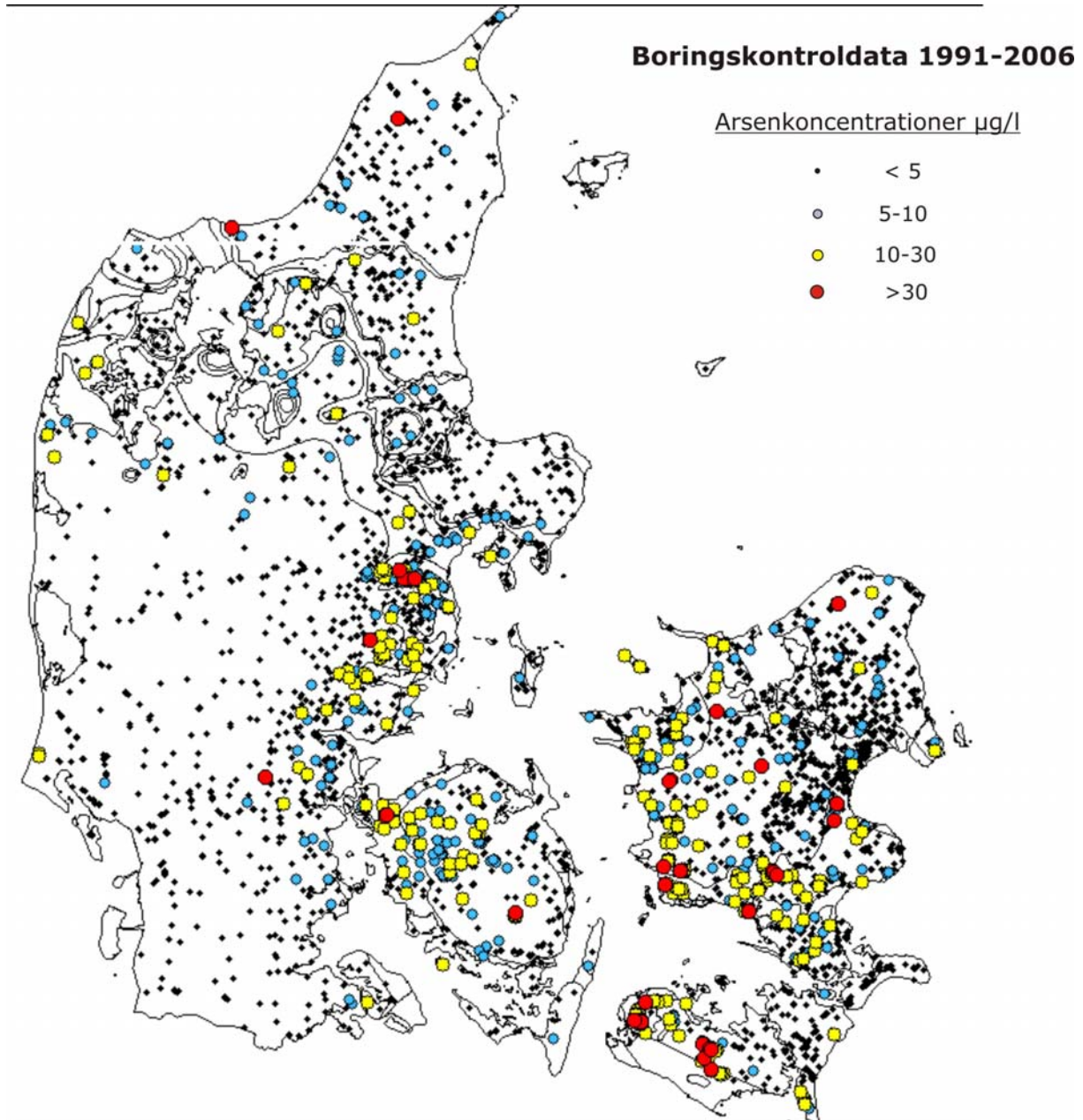
## Hvem skal læse denne manual?

Denne manual henvender sig til vandværker, kommuner, rådgivere og entreprenører med den hensigt at give råd og vejledning i forbindelse med valg og implementering af tiltag rettet mod at reducere drikkevandets indhold af arsen mest muligt. Baggrunden for dens udsendelse er de senere års påviste høje koncentrationer af arsen visse steder i dansk grundvand og drikkevand.

## Arsen i dansk grundvand

Resultater fra den landsdækkende monitorering af grundvandet har vist, at der i nogle områder forekommer naturligt betingede høje koncentrationer af arsen i grundvandet. Fordelingen af arsen i grundvandet i Danmark er vist i figuren på den følgende side.

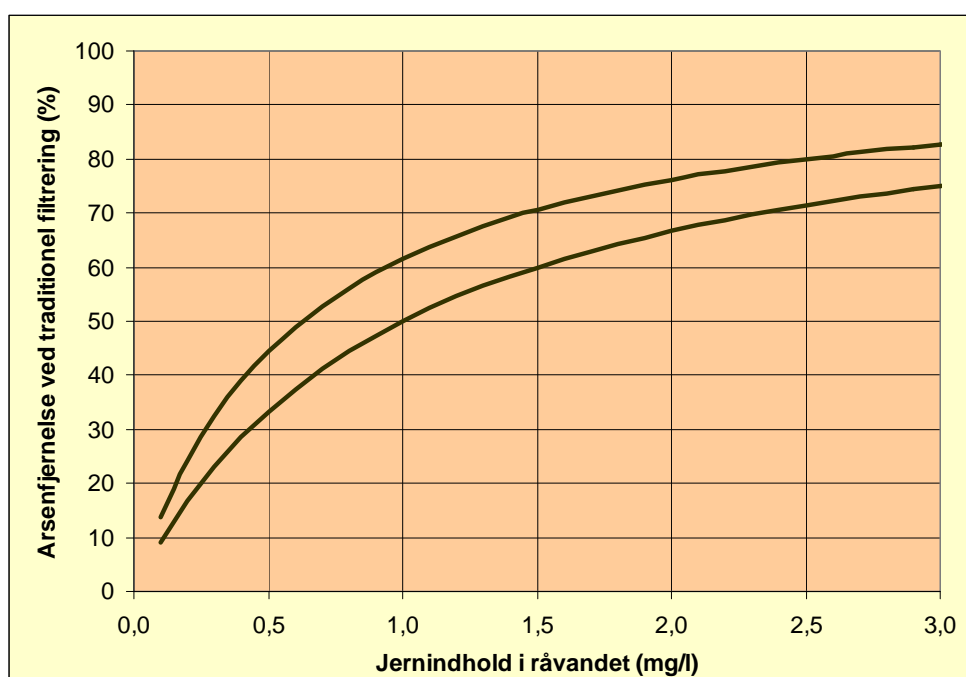
Høje koncentrationer af arsen i grundvandet optræder især på Lolland, i Syd- og Vestsjælland, i den vestlige del af Fyn samt i Østjylland. Kilden til arsen er forekomsten af arsenholdige mineraler, som jernoxid (okker) og pyrit, i de sedimentter, der udgør vores grundvandsmagasiner. Frigivelsen af arsen til grundvandet sker typisk ved reaktiv opløsning af jernoxider og ved opløsning af pyrit som følge af oxidation af mineralet. De høje koncentrationer af arsen i grundvandet er altså helt overvejende et resultat af naturlige processer i undergrunden, hvorfra vi oppumper vores drikkevand. For mere information om disse forhold kan henvises til den supplerende litteratur, der er nævnt sidst i manualen.



Påviste koncentrationer af arsen i dansk grundvand. Datagrundlaget er kommuner-nes indberetninger til GEUS.

## Arsen i dansk drikkevand

Vandværker, der indvinder grundvand med et højt arsenindhold, leverer ikke nødvendigvis drikkevand med et højt indhold af arsen. Dette skyldes blandt andet det forhold, at arsen i ofte delvist fjernes i vandværkers behandlingsanlæg, også selv om der kun anvendes en helt traditionel vandbehandling med beluftning og fældning af jern og mangan. Der skal derfor her skelnes mellem grundvandets og drikkevandets indhold af arsen.



Ved traditionel vandbehandling er det råvandets naturlige indhold af både arsen og jern, der er afgørende for det rensede drikkevands indhold af arsen. På ovenstående graf ses forholdet mellem råvandets koncentration af jern og den beregnede procentvise fjernelse af arsen i forbindelse med en traditionel vandbehandling. Typisk vil den procentvise fjernelse af arsen være et tal, der ligger mellem de to linjer i figuren. Som hovedregel kan det siges, at fjernelse af arsen er ca. 50 %, hvor råvandet indeholder 1 mg/l jern og ca. 70 % ved et jernindhold på 2 mg/l. På nogle vandværker er råvandets indhold af jern tilstrækkeligt højt til, at arsen efter en simpel vandbehandling kan overholde grænseværdien for arsen i drikkevand. Såfremt dette ikke er tilfældet, kan metoderne beskrevet i denne manual tages i brug.

# Hvorfor skal vi bekymre os om arsen i dansk drikkevand?

Indtag af for meget arsen fra drikkevand og fødevarer har en række sundhedsskadelige virkninger. Et stort indtag gennem længere tid kan i værste fald føre til udvikling af en række kræftformer herunder blære-, nyre- og lungekræft. Det skal understreges, at de relativt lave påviste koncentrationer af arsen, der findes i det danske grundvand, medfører en meget lille risiko for udvikling af kræft. Undersøgelser gennemført af Kræftens Bekæmpelse, har da heller ikke kunnet påvise en sammenhæng mellem drikkevandets indhold af arsen og udbredelsen af de nævnte kræftformer herhjemme. Men i overensstemmelse med Bekendtgørelse nr. 1449 af 11. december 2007 skal det altid tilstræbes, at vandkvaliteten er bedst mulig, det vil sige, at indholdet af arsen er så lavt som muligt i drikkevandet.

## Kontrol af arsen i drikkevand

I den danske bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg er der opstillet to grænseværdier for drikkevandets indhold af arsen. Én grænseværdi på 10 µg/l er gældende for vandprøver udtaget fra forbrugernes taphaner, og en anden på 5 µg/l er gældende ved indgang til forbrugers ejendom. Årsagen til indførelse af to grænseværdier er den, at der under særlige forhold kan tænkes at ske en afsmitning af arsen fra vandinstallationer. Fastsættelsen af et lavere krav ved indgang til ejendommen giver således mulighed for en vis afsmitning fra installationer, uden at grænseværdien på 10 µg/l overskrides. I bekendtgørelsen er det anført, at "hvis vandværket kan dokumentere, at der ikke sker en tilførsel af metaller i ledningsnettet, kan der i stedet for måling ved indgang til ejendom måles ved afgang fra vandværket". Hvis der er behov for at analysere for arsen i vandprøver udtaget fra forbrugers taphane, skal man benytte en metode anvist af By- og Landskabsstyrelsen. Den nu gældende vejledning er nr. 9191 af 24/04/2009 om metode til sammensat flowproportionel prøvetagning af drikkevand ved forbrugers taphane. Hyppigheden for kontrol af drikkevandets indhold af arsen varierer fra hver andet år for små vandværker til to gange om året for store vandværker. En kommunalbestyrelse kan jf. bekendtgørelsen træffe afgørelse om, at kontrolhyppigheden skal øges.

# Typer af løsninger

De præsenterede løsninger i denne manual er for overskuelighedens skyld inddelt i fire overordnede typer som vist herunder.

<b>Løsningstype A</b> Optimering af indvinding fra eksisterende borer	<b>Løsningstype B</b> Etablering af nye indvindingsboringer	<b>Løsningstype C</b> Rensning af råvand for arsen	<b>Løsningstype D</b> Samarbejde eller sammenlægning med andet vandværk
--	--	---	--

## Løsningstype A: Optimering af indvinding fra eksisterende borer

Et vandværk med flere indvindingsboringer kan muligvis reducere drikkevandets indhold af arsen ved en simpel justering af oppumpninger fra borerne på kildepladsen. Typisk er pumpestrategier fastlagt med enten det formål at sprede indvindingen mest muligt, eller ud fra et ønske om at opretholde en oppumpning fra alle indvindingsboringer. Endelig kan det være energimæssige hensyn, der betinger oppumpningerne. Det er derimod yderst sjældent, at råvandets vandkvalitet er bestemmende for et vandværks pumpestrategi. Hvor der optræder høje koncentrationer af arsen i drikkevandet, er der behov for en ny tilgang, og da bør en lav koncentration af arsen kombineret med en højt indhold af jern have høj prioritet, idet dette giver de bedste betingelser for fjernelse af arsen i vandbehandlingen. Det bør derfor undersøges, om en ændret fordeling af oppumpningen mellem kildepladsens borer kan formindske drikkevandets indhold af arsen.

Hvis der er overkapacitet på en kildeplads, er det muligt, at en boring med dårlig vandkvalitet kan tages helt eller delvist ud af drift, så der kun pumpes fra boringen i særlige situationer - eksempelvis når rentvandstanken er næsten tom. Med denne løsning opretholdes forsyningsikkerheden, men hvis boringens vandkvalitet bidrager meget til en samlet, dårlig vandkvalitet, bør den tages helt ud af drift.

Det bemærkes, at der *ikke* er belæg for, at arsenindholdet i råvand kan mindskes ved at pumpe med en mindre ydelse fra borer. Denne løsning er tidligere anvendt med held i forbindelse med nikkelp problemer, hvor det kan være vigtigt at minimere sænkningstragten for at undgå frigivelse af nikkel fra sedimentet. I Danmark har sænkningstragten normalt ingen indflydelse på frigivelse af arsen.

## Løsningstype B: Etablering af nye indvindingsboringer

Resultater fra nyere forskningsprojekter har vist, at grundvandets indhold af arsen i mange tilfælde varierer både med dybden i undergrunden og inden for korte geografiske afstande. Der kan derfor muligvis opnås en bedre vandkvalitet med lavere indholdet af arsen ved at pumpe fra andre lag eller ved at flytte indvindingen til en ny kildeplads inden for en rimelig afstand af vandværket.

Såfremt der i en boring oppumpes fra flere adskilte sandlag, vil der ofte være forskellige koncentrationer af arsen i de vandførende zoner. Generelt kan det siges, at de laveste koncentrationer af arsen typisk findes i sandlag med større mægtigheder. I undersøgelser gennemført på Fyn, i områder hvor der generelt er høje koncentrationer af arsen i grundvandet, er det eksempelvis påvist, at mulighederne for at oppumpe råvand med koncentrationer under 5 µg/l er størst for sandlag, der er tykkere end 10 meter. Undersøgelserne fra Fyn viser også, at der generelt findes lavere koncentrationer af arsen i de dybere sandlag. Begge disse observationer viser, at der kan være god grund til at undersøge forskellige filtersatte intervaller i borerne. Såfremt der forekommer relativt høje koncentrationer i særlige niveauer, kan disse niveauer med fordel undgås, når der etableres nye borer, eller når eksisterende borer renoveres. Andre steder i landet kan forholdene være anderledes, end de her beskrevne fra Fyn, og der bør derfor gennemføres undersøgelser med henblik på en afklaring af lokale forhold, inden der tages beslutning om borerne filtersætning. Der kan også være mulighed for at filtersætte borer mere terrænnært, her skal der dog tages hensyn til en eventuel forøget sårbarhed over for overfladenære forureninger af grundvandet, eksempelvis nitrat.

Hvor det på en eksisterende kildeplads ikke er muligt at foretage ovennævnte ændringer af indvindingsforholdene, kan en løsning være at flytte kildepladsen og etablere en ny rørføring til vandværket. Også i dette tilfælde bør der udføres forundersøgelser, der kan klarlægge, om der i rimelig afstand fra værket findes grundvand med et tilstrækkeligt lavt arsenindhold.

## Løsningstype C: Rensning af råvand for arsen

Der findes en række rensningsmetoder på markedet til fjernelse af arsen, og valg af metode bør derfor bero på en vurdering af de konkrete forhold i den enkelte sag. De mest udbredte og effektive metoder såvel herhjemme som i udlandet er fjernelse af arsen ved filtrering af råvandet gennem et granulat, eller ved tilsætning af opløst jern til råvandet. Det er valgt her at beskrive disse to metoder mere indgående.

Ved anvendelse af et granulatfilter etableres normalt et trykfilter umiddelbart før rentvandstanken. Trykfilteret fyldes med et filtergranulat designet til at fjerne arsen fra råvandet. De fleste granulater til fjernelse af arsen består af en form for jernoxid. Granulatet binder arsen fra det behandlede vand, og fungerer derfor ved samme princip som et aktivt kulfilter til fjernelse af organiske forureninger. Det betyder, at granulatet langsomt bliver mættet med arsen, og samtidig stiger koncentrationen af arsen gradvist i det rensede vand. Før koncentrationen i udløbet overskrider grænseværdien, eller en anden koncentration fastsat af vandværket, udskiftes granulatmaterialet. Typisk skal granulatet udskiftes efter få års drift.

På nogle vandværker kan sandfiltrenes fjernelse af arsen forbedres ved at supplere vandets naturlige indhold af jern. I dette tilfælde tilsættes opløst jern i form af jernklorid eller jernsulfat med en doseringspumpe. Man skal være opmærksom på, at supplerende tilførsel af jern kan medføre et behov for justering af skylle-proceduren.

Der findes flere typer af løsninger ved jern dosering. I nogle tilfælde kan jern tilføres direkte til eksisterende filtre. I andre tilfælde skal der foretages en ombygning af vandværket fra enkelt- til dobbeltfiltrering, hvorved der kan doseres jern både på for- og efterfilter. Endelig kan der opføres et nyt filter (oftest et trykfilter) i serie med det eller de eksisterende filtre.

### **Løsningstype D: Sammenlægning eller samarbejde med andet vandværk**

Det har vist sig, at høje koncentrationer af arsen i drikkevandet mange steder forekommer på vandværker med forholdsvis små indvindinger. På mindre vandværker kan der være relativt beskedne ressourcer til at løse et så relativt vanskeligt teknisk problem som at reducere drikkevandets indhold af arsen, og

en løsning kan i disse tilfælde derfor være et samarbejde med et nabovandværk. Dette kræver selv sagt, at dette vandværk leverer drikkevand med et passende lavt indhold af arsen.

Én type løsning kan være køb af rå- eller rentvand fra et andet vandværk, så der ved en passende opblanding kan opnås en acceptabel vandkvalitet. Såfremt råvand fra en kildeplads har et så højt indhold af arsen, at der selv efter en optimering af oppumpninger mellem de enkelte boringer, eller med rensning af råvandet, ikke kan opnås en acceptabel vandkvalitet, bør det overvejes at nedlægge kildepladsen. Det bevirker, at al vand købes fra det andet vandværk, og hvis der købes rentvand, er der tale om en omdannelse til et distributionsselskab. Det kan således blive aktuelt med en egentlig sammenlægning af to eller flere vandværker.

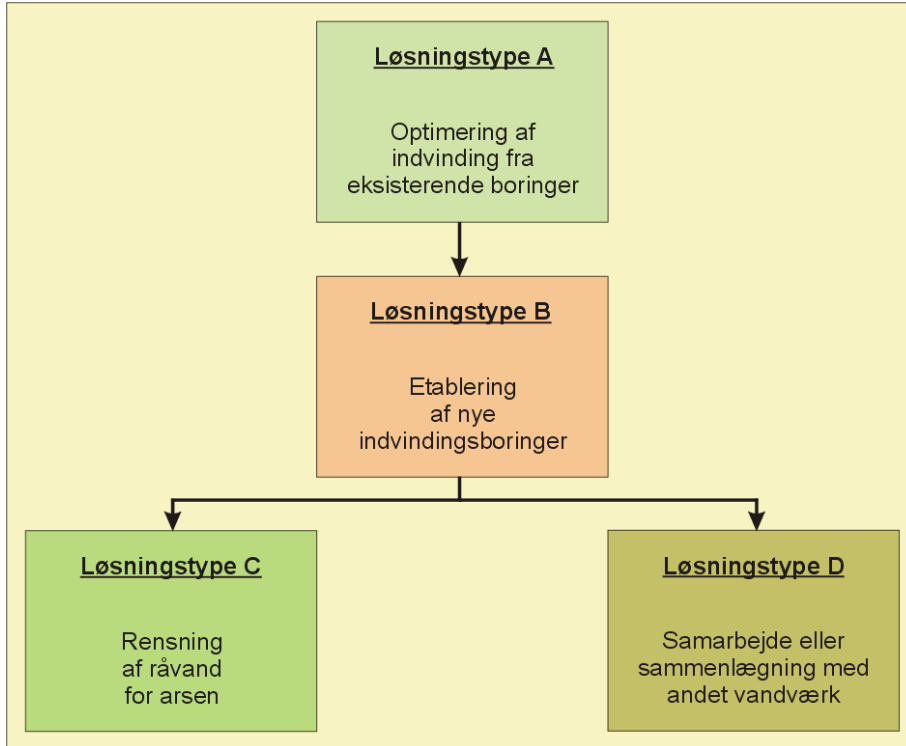
## Hvordan vælger man den rigtige løsning?

Inden man lægger sig fast på en løsning til reduktion af et vandværks indhold af arsen i drikkevandet, bør man overveje værkets forsyningssituation i sin helhed. I disse overvejelser bør blandt andet indgå en vurdering af værkets almene tilstand, andre vandkvalitetsmæssige udfordringer samt forsyningens økonomisk situation. Det synes indlysende, at det ikke giver mening at investere mange penge i en løsning, hvis der er tale om et nedslidt anlæg og en vanskelig almen råvands-kvalitet. Hertil kommer en vurdering af driftspersonalets faglige kvalifikationer; er personalet i besiddelse af de tilstrækkelige kvalifikationer til at håndtere en mere kompliceret rensningsteknik til fjernelse af arsen?

Endelig bør man kontrollere plangrundlaget, som bl.a. angives i forskellige dokumenter, herunder vandforsyningsplan, indsatsplan, handleplaner og Natura 2000. Disse planer kan give oplysninger om vandforsyningens rolle i den fremtidige forsyningsstruktur, samt hvilke udfordringer forsyningen står over for i fremtiden. Hvis overvejelserne taler for, at vandforsyningsanlægget er bevaringsværdigt, skal der træffes valg angående en teknisk løsning. De kommende afsnit kan være til hjælp i valget af løsning.

Diagrammet på den følgende side viser en generel fremgangsmåde til identifikation af en passende løsning, der kan bruges på ens vandværk. Det anbefales, at man i første omgang undersøger mulighederne for at opnå en bedre drikkevandskvalitet ved en forbedring af råvandets kvalitet. Hvis det er muligt, kan man undgå en vedvarende driftsudgift til vandrensning. Først hvis der ikke er mulighed for en alternativ, attraktiv udnyttelse af grundvandsressourcen, eller hvis usikkerhederne forbundet med en afklaring af disse forhold er for store, bør valg af en rensnings-metode indgå som en løsningsmodel.

Det foreslås derfor, at man i først omgang forsøger en optimering af oppumpningen med de eksisterende borer (løsningstype A). Såfremt dette ikke kan løse problemet, undersøges muligheden for etablering af nye indvindingsboringer (løsningstype B). Såfremt disse muligheder ikke kan føre til lavere indhold af arsen i drikkevandet overvejes rensning af råvandet (løsningstype C). Når man har identificeret og vurderet de tekniske og økonomiske aspekter af en mulig løsning, har man et bedre grundlag for igen at vurdere forsyningens situation. Det kan vise sig, at det giver mere mening af sammenlægge/samarbejde med en anden vandforsyning (løsningstype D).



**Løsningstype A: Optimering af indvinding fra eksisterende borer**

Kriterier for valg af løsningsmetoder ved ændring af oppumpning, samt eksempler på anvendelse af denne type løsning, fremgår af nedenstående tabel.

Nr.	Løsning	Kriterier	Eksempler
<i>A: Optimering af indvinding fra eksisterende borer</i>			
A1	Boringsprioritering	Bør udføres af alle vandværker med arsenproblemer	Åboværket
A2	Aflukning af dele af filtret	Boringer med flere filterindtag adskilt af blindrør	Ingen
A3	Egentlig sløjfning af boring	Der er overkapacitet på kildepladsen	Elling

### **A1** Boringsprioritering

Råvandets samlede koncentration af arsen kan ofte reduceres ved en justering af de relative oppumpninger fra borer på en kildeplads. Derfor bør alle vandværker med arsen i drikkevandet først undersøge denne mulighed.

Det omtrentlige bidrag til blandingskoncentrationen af arsen i det behandlede vand beregnes ved nedenstående ligning for hver boring, hvor  $A_s$  er koncentration af arsen i  $\mu\text{g/l}$  og  $F_e$  er jernkoncentration i  $\text{mg/l}$ :

$$A_{s_{\text{rentvand}}} = A_{s_{\text{råvand}}} - \frac{1,1 \cdot F_{e_{\text{råvand}}} \cdot A_{s_{\text{råvand}}}}{1 + 1,1 \cdot F_{e_{\text{råvand}}}}$$

Ved at gange andelen af den oppumpede vandmængde fra den enkelte boring med den beregnede koncentration af arsen i det rensede vand, kan man beregne den enkelte pumpeborings bidrag til den samlede koncentration af arsen i drikke-vandet, se eksemplet i tabellen i næste side.

I eksemplet reduceres drikkevandets indhold af arsen fra 7,0 til 4,3  $\mu\text{g/l}$  alene som følge af justeringen af oppumpningerne, fra en ligelig fordeling mellem borerne til fordeling med oppumpninger mellem 5 og 60 % af den samlede oppumpning fra de enkelte borer.

Boring	As, råvand	Fe, råvand	As, rentvand	Oppumpning før	Oppumpning efter
	µg/l	mg/l	µg/l	%	%
1	8	1,4	3,1	25	60
2	11	1,1	5,0	25	30
3	16	0,9	8,0	25	5
4	22	0,8	11,7	25	5
			As µg/l	7,0	4,3

Det skal bemærkes, at koncentration af arsen i råvandet fra de enkelte indvindings-boringer skal variere betydeligt (f.eks. mere end 2 µg/l), såfremt der skal være grundlag for optimering af pumpestrategien som ovenfor beskrevet. Dette skyldes, at råvandets indhold af jern og arsen varierer fra måling til måling (ofte ± 20 % eller mere), samt det forhold, at den faktiske arsenfjernelse i vandbehandlingen kan variere fra den arsenfjernelse, der kan beregnes ud fra ovenstående ligning.

#### Fordele:

- Hurtig og let at gennemføre.
- En billig løsning - ingen eller meget få anlægs- eller driftsudgifter.

#### Ulemper:

- Svarer ikke nødvendigvis til den mest energioekonomiske boringsprioritering.
- Kan være begrænset af boringernes ydelser.

#### Økonomiske nøgletal:

- Ønsker man ikke selv at foretage en boringsprioritering, vil dette typisk kunne gøres af en rådgiver for 7.000 – 10.000 kr.

## A2

### Aflukning af dele af filtret

I indvindingsboringer med flere, adskilte filterindtag, kan der foretages en bestemmelse af koncentrationen af arsen i råvandet fra de enkelte filterindtag. Dette kan gøres ved en separationspumpe eller med en akkumuleret prøvetagning i boringen. Såfremt der er en betydelig variation i grundvandskvaliteten, kan det med ligning på side 12 beregnes, om det at aflukke dele af

boringen, er en brugbar løsning. Det er i dette tilfælde vigtigt at vurdere, om boringen kan opretholde en tilstrækkelig ydelse efter en delvis aflukning.

Fordele:

- Forholdsvis billig at gennemføre .

Ulemper:

- Er kun anvendelig i boringer med flere filterindtag i samme blindrør, hvor koncentrationen af arsen varierer væsentligt med dybden.
- Kan være begrænset af boringens ydeevne.

Økonomiske nøgletal:

- Prøvetagning af flere filterindtag i en boring, samt analyser og vurdering af muligheder og efterfølgende aflukning af dele af en boring, koster typisk 40.000 – 60.000 kr. afhængigt af de lokale forhold.

### A3

#### **Egentlig sløjfning af boring**

Såfremt en analyse af kildepladsen viser, at én eller flere boringer bidrager med en betydelig mængde arsen af den samlede mængde arsen i drikkevandet, bør det overvejes at tage denne eller disse boring(er) helt ud af produktion.

Fordele:

- Forholdsvis billig løsning at gennemføre.

Ulemper:

- Ydelsen fra den sløjfede boring skal erstattes ved at pumpe mere fra de øvrige boringer.

Økonomiske nøgletal:

- Sløjfning af en boring koster typisk 10.000 - 20.000 kr. afhængigt af dybde, diameter og adgangsforhold.

<b>Løsningstype B:</b>	<b>Etablering af nye indvindingsboringer</b>
------------------------	--

Tabellen nedenfor angiver kriterier, der kan anvendes til etablering af nye indvindingsboringer.

Nr.	Løsning	Kriterier	Eksempler
<i>B: Etablering af nye indvindingsboringer</i>			
B1	Boring til en anden dybde	Formodning om eksistens af dybere vandførende lag	Nørre Åby
B2	Flytning af kildeplads	Formodning om eksistens af alternative, brugbare vandførende lag	Ingen

## **B1** Boring til en anden dybde

Hvis det ved optimering af oppumpninger fra boringerne på en kildeplads ikke er muligt at reducere råvandets indhold af arsen til et acceptabelt, lavt niveau, bør næste overvejelse være etablering af nye pumpeboringer. Den simpleste løsning kan være at oppumpe fra dybere grundvandsmagasiner på kildepladsen. Det bør her undersøges, om der fra andre boringer i området er en viden om forholdene på større dybder i undergrunden. Hvis der ikke foreligger tilgængelige oplysninger, må der foretages prøveboringer. Under borearbejdet bør der om muligt løbende udtages vandprøver fra bunden af boringen, så vandkvaliteten kan vurderes inden udbygning af boringen.

Fordele:

- Varig løsning uden driftsomkostninger til avanceret vandbehandling.

Ulemper:

- Usikkert om der kan opnås et tilfredsstillende resultat.

Økonomiske nøgletal:

- Etablering af en ny pumpeboring vil typisk kræve en investering på 150.000 til 300.000 kr.
- Hertil kommer udgifter til undersøgelser i oplandet, som varierer afhængigt af omfanget.

## B2

### Flytning af kildeplads

Såfremt der ikke kan findes en løsning inden for den givne kildepladsanlæg, bør en flytning af kildepladsen overvejes. I dette tilfælde bør det også ved forundersøgelserne lægges vægt på grundvandskemiske forhold, i første omgang ved at indsamle tilgængelige oplysninger fra nabovandværker og ved eventuelt efterfølgende borearbejde. Der vil typisk være en risiko for, at vandkvaliteten i nye borer ikke er væsentlig bedre end i de gamle borer. Der skal endelig foretages en helhedsvurdering af vandkvaliteten, så der tages hensyn til vandets indhold af nitrat, miljøfremmede stoffer og andre komponenter.

#### Fordele:

- Varig løsning uden driftsomkostninger til avanceret vandbehandling.

#### Ulemper:

- Usikkert om der kan opnås et tilfredsstillende resultat, og det kan være forbundet med store omkostninger.

#### Økonomiske nøgletal:

- Omkostningerne til etablering af en ny kildeplads er i høj grad betinget af, eventuelle omkostninger til køb af arealer. Etablering af pumpeboringer vil typisk kræve en investering på 150.000 til 300.000 kr. per pumpeboring. Etablering af råvandsledning koster i landdistrikter typisk mellem 600 og 800 kr. per meter, men i tæt bebyggede områder kan prisen være op mod 2.000 kr. per meter.
- Hertil kommer udgifter til undersøgelser i naboområdet samt en helhedsvurdering af vandværkets forhold.

**Løsningstype C: Rensning af råvand for arsen**

Tabellen nedenfor angiver kriterier, der kan anvendes til at fastlægge, hvilken rensningsløsning der er mest egnet for det aktuelle vandværk.

Nr.	Løsning	Kriterier	Eksempel
<i>C: Rensning af råvand for arsen</i>			
C1	Filtrering med granulat	Årsproduktion < 100.000 m <sup>3</sup> /år og Koncentrationer af arsen i råvand < 10 µg/l eller behov for minimal pasning	Hundslund, Sandby
C2	Jerndosering på eksisterende filtre	Jernkoncentrationen i råvand < 1 mg/l og koncentrationer af arsen i råvand < 15 µg/l	Tindbæk, Spentrup
C3	Jerndosering og ombygning til dobbeltriflering	Anlæggets driftstid (t/døgn) Filterhastighed < 30 m/t	Fensmark, Harlev
C4	Jerndosering ved anlæg af nye filtre	Ikke mulighed for ovenstående løsninger Målsætning for arsen i rentvand < 2 µg/l	Nakskov, Galten

**C1 Filtrering med jerngranulat**

Denne rensningsløsning stiller relativt få krav til driftspersonalet, og den kan være et passende valg for et mindre vandværk med begrænsede personalemæssige ressourcer. Til gengæld er metoden ikke den billigste metode til vandrensning for arsen.

Ved dimensionering af denne løsning er der behov for en beregning af, hvor længe der kan leveres drikkevand med en ønsket koncentration af arsen. Dette kræver oplysninger om vandværkets vandgennemstrømning per døgn, om koncentrationen af arsen i råvandet samt granulatets kapacitet til at tilbageholde arsen med den aktuelle sammensætning af råvandet, herunder især vandets pH, fosfat-, silicium- og sulfatindhold. Vandværket bør derfor bl.a. sikre sig en garanti for granulatets holdbarhed fra leverandøren.

Ved etablering af denne rensningsmetode, skal der være stor opmærksomhed på desinficering af filter og granulat. Det anbefales derfor, at der tilsættes klor til det nye filter med granulat med henstand natten over.

Fordele:

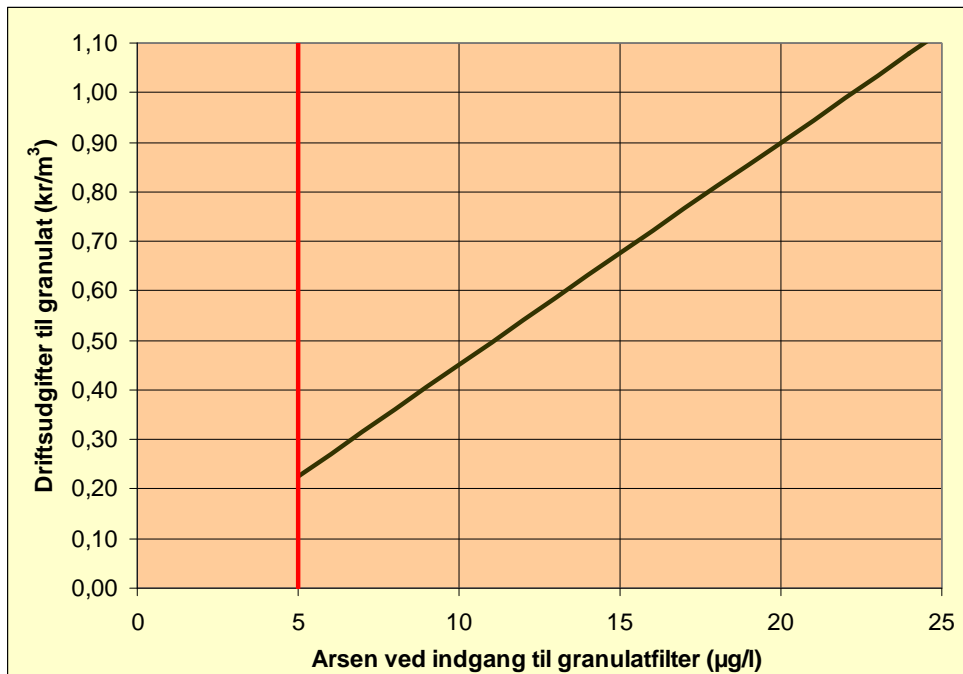
- Begrænsede driftsmæssige opgaver.
- Et lavt arsenindhold i en lang periode efter granulatskift.
- Ikke behov for håndtering af kemikalier.
- Ingen forøgelse af slammængden.

Ulemper:

- Generelt relativt dyr metode.
- Kræver plads til et nyt trykfilter.
- Arsenindholdet i det behandlede vand stiger langsom indtil granulatet udskiftes.

Økonomiske nøgletal:

- Ved rensning med granulat er den største udgift oftest køb af granulatmaterialet. Grafen på næste side viser prisen på granulat omregnet til  $\text{kr/m}^3$  drikkevand. Grafen forudsætter, at prisen på granulat er 180  $\text{kr/kg}$ , og dets kapacitet er 4 g arsen/kg granulat. Andre væsentlige udgifter er trykfilteret og evt. omkostninger til ombygning på vandværket.
- Følgende udgifter kan også komme på tale: Arbejdsprocessen omkring udskiftningen af granulatet, bortskaffelse af brugt granulat og evt. skyllepumpe, hvis den eksisterende ikke kan anvendes. Hvis metoden anvendes på et vandværk med åbne filteranlæg, er der behov for transportpumpe, el-udgift til pumpen, og f. eks. ultralydsmåler til vandspejlsmåling. Se eventuelt også de økonomiske nøgletal under Løsning C4.



## C2

### Jerndosering på eksisterende filter

Den metode stiller relativt høje krav til driftspersonalet, og den er derfor kun et passende valg på vandværker, hvor sådanne personalemæssige ressourcer er til stede. Der skelnes i det følgende mellem vandværker, hvor råvandet fjernes ved en enkeltfiltrering eller ved en dobbeltfiltrering. Her vil forhold vedrørende enkeltfiltrering blive omtalt, og i følgende afsnit omtales metoder ved dobbeltfiltrering.

Ved jerndosering tilsættes råvandet ekstra opløst, reduceret jern, så der kan fjernes en større del af arsen i råvandet under vandbehandlingen. Metoden er velegnet, hvor koncentrationen af jern i råvandet er lav, under 1 mg/l, og råvandets indhold af arsen er relativt lavt, under 15 µg/l.

Undersøgelser har vist, at forøget jernbelastning kan forringe filternes evne til at fjerne ammonium, hvilket skal tages i betragtning ved valg af denne metode. En eventuel effekt på ammoniumfjernelsen kan vurderes, ved at afprøve jerndosering i en periode.

Der har tidligere været diskussion om eksisterende, arsenholdigt filtermateriale bør udskiftes ved etablering af en ny rensningsteknik, idet man hermed kunne reducere risikoen for afsmitning af arsen til vandet under filtreringsprocessen. Det har vist sig, risikoen for afsmitning af arsen er begrænset og kortvarig, og at den eventuelt kun optræder i forbindelse med ændringer i jerdoseringsniveauet. Derfor anbefales det, at eksisterende filtermateriale ikke udskiftes i disse situationer.

Fordele:

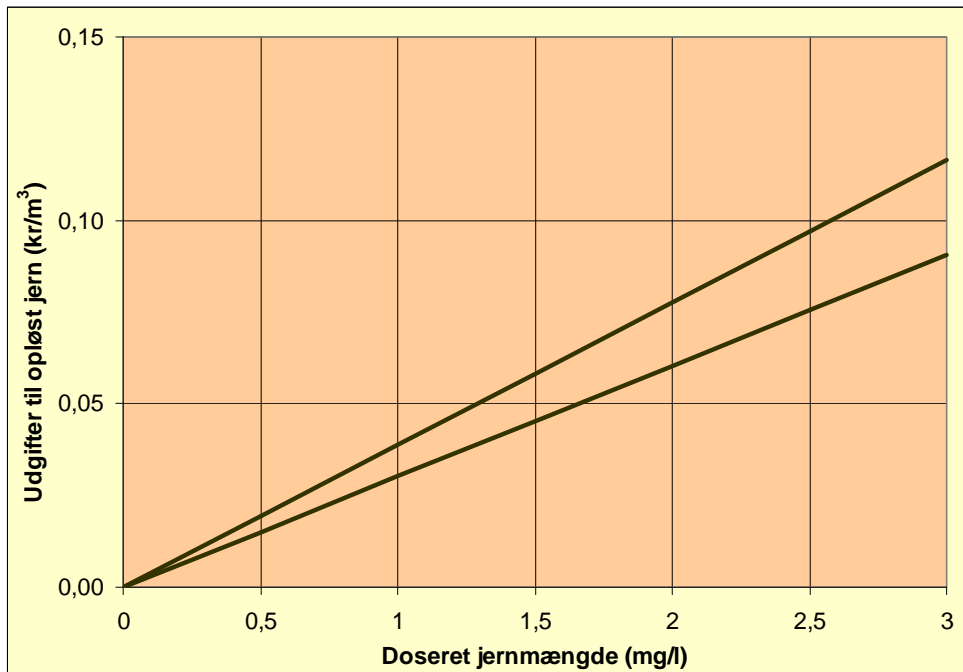
- Relativt billig løsning.

Ulemper:

- Kræver håndtering af kemikalier (arbejdsmiljø, korrosion, forkert dosering, tilstopning).
- Arsenindholdet i rentvandet kan variere, hvis der pumpes fra forskellige indvindingsboringer med forskelligt arsenindhold, eller hvis arsenindholdet i råvandet varierer med tiden i boringerne.
- Kan medføre forringelse af ammoniumfjernelsen.
- Kræver tilpasning af skylleproceduren.
- Forøger slammængden.

Økonomiske nøgletal:

- Ved jerdosering på eksisterende filtre er der tale om begrænsede udgifter. Grafen nedenfor viser et prisinterval for det supplerende jern omregnet til kr/m<sup>3</sup> drikkevand.
- Udgifter til bortskaffelse af ekstra slam kan være en væsentlig udgift, da arsenindholdet i skyllevandsslam kan være så højt, at der er tale om farligt affald. Pumpbart slam bortskaffet hos Kommunekemi koster omkring 1.700 kr/t i våd tilstand. En god afvanding af slammet formindsker vægten, og dermed også udgifterne til bortskaffelse.
- Udgifter til rådgiver vurderes at være relativt beskedne.



### C3

#### Jerndosering og ombygning til dobbeltfiltrering

Som tidligere omtalt fjernes der mere arsen i et vandværks filtre, jo mere jern der er i råvandet, hvorfor det kan være en god idé, at forøge mængden af jern i det behandlede vand. Man får imidlertid mere ud af en tilsætning af ekstra jern til jernfattigt råvand, end ved tilsætning til jernrigt vand. Eksempelvis fjernes over 50 % arsen, hvis der tilsættes 1 mg/l jern på et filter, hvor der i forvejen intet jern er i råvandet. Hvis der også tilsættes 1 mg/l jern på et filter, hvor der i råvandet i forvejen er 3 mg/l jern, opnås mindre end 5 % yderligere arsenfjernelse. Der kan derfor opnås en bedre fjernelse af arsen ved at dosere 1 mg/l på to filtre i serie (forfilter og efterfilter) end ved at dosere 2 mg/l på et filter. Dette kan ske ved en dobbeltfiltrering, og en sådan filtrering har samtidig den fordel, at råvandets indhold af reduceret arsen omdannes til en oxideret form for arsen, der fjernes bedre under jernudfældningen i filtrene.

På værker, med relativt høje koncentrationer af arsen i råvandet, bør det derfor overvejes at etablere en dobbeltfiltrering. Denne løsning øger imidlertid kravene til skylleprocedureerne på vandværket, da der er tale om en større belastning af filtrene med jern. Derfor skal man sikre sig, at hyppigere skyl kan finde sted uden at medføre problemer med kapacitet eller opholdstid (til bundfældning af skyllevandet) i skyllevandstanken/-bassinet.

Anvendelse af denne løsning kræver endvidere, at vandværket har en tilstrækkelig behandlingskapacitet, idet filterhastigheden samtidig forøges til det dobbelte. Dette er normalt ikke acceptabelt, men kan eventuelt imødekommes ved at reducere råvandsydelsen. Et anlægs kapacitet kan beregnes ved at multiplicere den aktive driftstid (målt i timer pr. døgn) med vandets filterhastighed (målt i meter per time). Hvis det skal kunne betale sig at foretage en ombygning, skal dette tal som en tommelfingerregel være under 30 meter per. døgn. Eksempelvis vil et vandværk, der er i drift i 14 timer pr. døgn med en filterhastighed på 2 meter per time være en kandidat til ombygning, såfremt rentvandstanken har en størrelse, der gør en for-holdsvis jævn vandproduktion gennem hele døgnet mulig.

Normalt vil en ombygning medføre ændring i rørføring og ventiler, så både almindelig drift og returskyllning af filtrene kan finde sted. For at styre de nye ventiler kan der være behov for at koble systemet til et eksisterende SRO system.

Fordele:

- En relativt billig løsning.

Ulemper:

- Kræver håndtering af kemikalier (arbejds miljø, korrosion, forkert dosering, tilstopning).
- Arsenindholdet i rentvandet kan variere, hvis der pumpes fra forskellige indvindingsboringer med forskelligt arsenindhold eller hvis arsenindholdet i råvandet fra samme boring varierer med tiden.
- Kan medføre forringelse af ammoniumjernelse.
- Kræver tilpasning af skylleproceduren.
- Forøger slammængden.

Økonomiske nøgletal:

- Den væsentligste omkostning i forbindelse med denne løsning kan være ombygningen til dobbeltfiltrering. Beløbets størrelse afhænger af værkets indretning. Selve jerndoseringen medfører begrænsede udgifter. Grafen under løsning C2 på forrige side viser et prisinterval for det supplerende jern omregnet til kr/m<sup>3</sup> drikkevand.
- Udgifter til bortskaffelse af ekstra slam kan være en væsentlig udgift, da arsenindholdet i skyllevandsslamm kan være så højt, at der er tale om farligt affald. Pumpbart slam bortskaffet hos Kommunekemi koste

omkring 1.700 kr/t i våd tilstand. Afvanding af slammet formindsker vægten og dermed også udgifterne til bortskaffelse.

- Hertil kommer omkostninger til indkøb af to doseringspumper, der koster i omkring 15.000 kr. pr. stk.
- Rådgiver honorar vil være relativt beskedent.

## C4

### **Jerndosering ved anlæg af nye filtre**

I mere udfordrende tilfælde, hvor råvandets indhold af arsen er meget højt, og dets indhold af jern er relativt lavt, kan man risikere at hverken løsning C1, C2 eller C3 er tilstrækkelige. Hvor værkerne samtidig ikke besidder en overskydende kapacitet, kan det være vanskeligt at finde egnede metoder.

I disse tilfælde kan løsningen være at opstille nye filtre i serie med det/de eksisterende filtre. Herved bliver enkeltfiltrering til dobbeltfiltrering, mens dobbeltfiltrering bliver til tredobbelt filtrering. Hvis der ikke er plads til de nye filtre i den eksisterende bygning, kan der være tale om en bygningsudvidelse. Denne løsning er forholdsvis dyr i anlægsudgifter (kan groft sammenlignes med løsning C1, der også kræver et nyt filter), men billig i drift. De nye filtre indsættes normalt som trykfilter umiddelbart før rentvandstanken.

Der doseres jern på de nye efterfiltre, hvor arsen findes i sin oxiderede form, der udfælder relativt meget på jernfiltre. Afhængig af de specifikke forhold, kan der i mange tilfælde med fordel også doseres jern på dét eller de eksisterende filtre. Her skal man dog være påpasselig med ikke at påvirke ammoniumjernelsen på de eksisterende filtre.

Fordele:

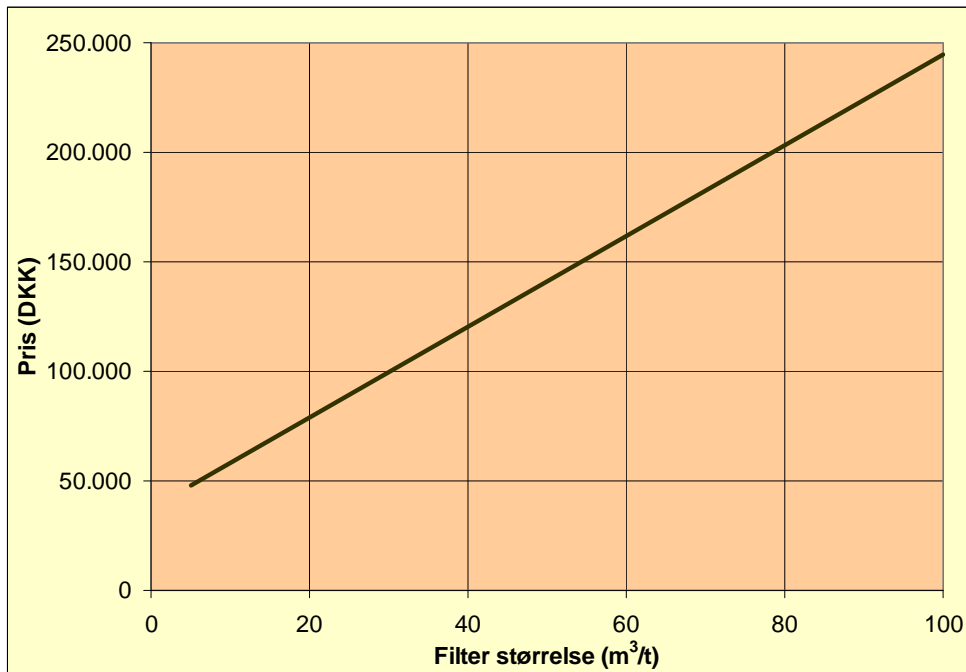
- Løsningen er billig i drift.

Ulemper:

- Kræver håndtering af kemikalier (arbejdsmiljø, korrosion, forkert dosering, tilstopning).
- Arsenindholdet i rentvandet kan variere, hvis der pumpes fra forskellige indvindingsboringer med forskelligt arsenindhold, eller hvis arsenindholdet i råvandet fra samme boring varierer med tiden.
- Kræver plads til nye filtre.
- Metoden er dyrere i anlæg end metoder, hvor der ikke skal opstilles nye filtre.
- De nye filtre skal også returskylles.
- Forøger slammængden.

Økonomiske nøgletal:

- Den væsentligste omkostning i forbindelse med denne løsning er typisk anlægsudgifter i forbindelse med udvidelse af bygning og fremskaffelse af nye trykfiltere. En overslagspris på trykfiltere er omkring 40.000 kr. plus 2.000 kr. pr. m<sup>3</sup>/t, se grafen på næste side. Den endelige pris afhænger af materiale, overfladebehandling, leverandør, m.m. Hertil kommer styring af returskyllning, som koster ca. 10.000 kr. og opefter, afhængigt af ønsker i forbindelse med SRO systemet. Prisen på et konkret anlæg bør altid kontrolleres ved tilbud fra flere filterleverandører.
- Selve jerdoseringen medfører begrænsede udgifter. Grafen under løsning C2 viser et prisinterval for det supplerende jern omregnet til kr/m<sup>3</sup> drikkevand. Udgifter til bortskaffelse af ekstra slam vil normalt være mindre end prisen på indkøb af jern. Hertil kommer omkostninger til indkøb af to doseringspumper, der koster i omkring 15.000 kr. per stk.



### Løsningstype D: Sammenlægning/samarbejde

Tabellen nedenfor angiver kriterier, der kan anvendes til at fastlægge, hvilken samarbejdsform, der er mest egnet for det aktuelle vandværk.

Nr.	Løsning	Kriterier	Eksempler
<i>D: Sammenlægning eller samarbejde med andet vandværk</i>			
D1	Køb af vand	Arsen i drikkevand hos nabovandværk < 2 µg/l Nabovandværk med kapacitet	ingen
D2	Nedlægning af kildeplads	Arsen i nabovandværkets drikkevand < 5µg/l	ingen
D3	Sammenlægning af vandværker	Arsen i nabovandværkets drikkevand < 5µg/l	Kalkerup Galten Vestermark

## D1

### Køb af vand

En mulig løsning for et vandværk med for meget arsen i drikkevandet kan være køb af drikkevand fra et nabovandværk med et acceptabelt, lavt indhold af arsen. Ved en passende blanding af vandet fra de to vandværker, kan der måske opnås en rimelig vandkvalitet.

Løsningen vil være betinget af: (i) koncentrationerne af arsen i de to vandtyper, (ii) hvor meget vand man er villig til at købe, og (iii) hvilket ambitionsniveau man har for indholdet af arsen i det blandede vand. Ved køb af vand indgås en aftale mellem partnerne, og prisen godkendes af kommunen.

I stedet for behandlet vand kan der også eventuelt købes råvand fra et nabovand-værk. Her kan der være en fordel at købe vand med et lavt arsenindhold og/eller et højt jernindhold. I denne situation vil købsprisen normalt være lavere, så nogle af indtægterne fra forbrugerne kan gå til afskrivning af behandlingsanlægget i stedet for afskrivninger hos nabovandværket.

Fordele:

- Vandværket skal ikke gennemføre en ressourceundersøgelse eller undersøgelse af mulighederne for rensning for råvandet for arsen.
- Løsningen er med til at forøge den umiddelbare forsyningsikkerhed.

Ulemper:

- Ved denne løsning går indtægter tabt (anvendes til at betale leverandørvandværket) samtidig med at modtagevandværket stadig skal drives.

Økonomiske nøgletal:

- Anlægsomkostning er længden af rørledningen til at forbinde vandværkerne en væsentlig parameter. Med hensyn til typiske priser kan henvises til B2. Prisen på køb af rentvand kan variere meget, afhængigt af den leveringsaftale, der indgås. I en vejledning vedr. leveringsaftale fra Forening for Vandværker i Danmark (FVD, nr. 204) vises et eksempel, hvor driftsudgifter og afskrivning (begge kun på hovedanlægget, dvs. uden ledningsnet) deles med produceret vandmængde ( $m^3$ ) for at få en pris på ca. 2,50 kr/ $m^3$ . Det bør dog bemærkes, at der også er set aktuelle eksempler med priser i størrelsesorden 5-8 kr/ $m^3$  for rentvand. En passende pris for råvand kunne være det halve af prisen på det behandlede vand.

## **D2**

### **Nedlægning af kildeplads**

Ved denne løsning nedlægges vandværkets egen kildeplads, og vandværket køber alt vand fra naboværket. Hermed er der tale om et rent distributionsselskab. Fordele og ulemper ved metoden er som ved Løsning D1, bortset fra at modtage-vandværket ikke længere skal drive kildeplads og behandlingsanlæg.

## **D3**

### **Sammenlægning af vandværker**

Ved denne løsning ophører vandværket med at eksistere som en selvstændig juridisk enhed. Ofte vil fremgangsmåden ved nedlægning af et vandværk være beskrevet i vedtægter og aftaler.

Ved denne løsning, skal vandværkets værdier gøres op. Som udgangspunkt kan kildepladsen ikke anvendes, mens distributionsnettet overtages direkte. Den fysiske tilstand af distributionsnettet kan være en væsentlig parameter. Andre værdier såsom behandlingsanlægget, rentvandstanke og pumpestationer skal vurderes, for at se om de kan indgå i den nye konstellation.

## Yderligere informationer, herunder om slam

Forhåbentlig kan denne manual give nogle nyttige ideer til løsning af problemer med høje koncentrationer af arsen i drikkevandet.

Råvand med arsen medfører imidlertid også dannelse af okkerslam med arsen, og vandværkspersonalet bør derfor være opmærksomme på den personlige hygiejne ved f.eks. rengøringsaktiviteter og håndtering af okkerslammet. Herudover er det vigtigt, at filtermateriale og skyllevandsslam bortskaffes på en miljømæssigt acceptabel måde. Disse forhold er ikke omtalt i denne manual, men DANVA udsender en vejledning herom i løbet af efteråret 2009. Vejledning om hvordan der sikres et godt arbejdsmiljø ved håndtering af skyllevandsslam med arsen kan hentes på hjemmesiden med adressen:

<http://www.danva.dk/Default.aspx?ID=2137&TokenExist=no>

Yderligere oplysninger om forhold omtalt i denne manual kan hentes i nedenstående publikationer:

Aktor, H., 1990. Okkerslam. Karakterisering af vandværksokkerslam og vurdering af betydningen af naturgivne forhold og fysiske-kemiske processer. Afsluttende rapport for erhvervsforskeruddannelse EF 241.

Baatsrup, R., Sørensen, M., Balstrøm, T., Frederiksen, K., Larsen, C., L., Tjøneland, A., Overvad, K. og Rauschou-Larsen, O., 2008. Arsenic in Drinking-Water and Risk for Cancer in Denmark. Environmental Health Perspectives, Vol., 16, No. 2, 231-237.

By- og Landskabsstyrelsen, 2007. Bekendtgørelsen om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (BEK Nr. 1449, 11. december 2007, [www.retsinfo.dk](http://www.retsinfo.dk))

Jessen, S., Larsen, F., Vidkjær, M., Arvin, E. og Mosbæk, H., 2005. Rensning af arsen i en traditionel vandbehandling på vandværker. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 7 2005. <http://www.miljostyrelsen.dk/Publikationer>

Kjøller, C., Larsen, F., Sø, U., H. og Postma, D., 2009: Arsen i kalkmagasiner i Danmark. Rapport til fem Miljøcentre i Roskilde, Odense, Nykøbing Falser, Ring-købing og Århus. GEUS rapport 2009/58. [www.geus.dk/Publikationer](http://www.geus.dk/Publikationer).  
Larsen, F., Kjøller, C. og Gram, M., 2009: Arsen i dansk grundvand og drikkevand. Bind 1: Arsen i dansk grundvand. Arbejdsrapport til Vandpuljen. [www.geus.dk/publikationer](http://www.geus.dk/publikationer) og <http://www.blst.dk/Publikationer>

Ramsay, L., 2005. Arsenfjernelse på danske vandværker. Watertech a/s.  
Arbejds-rapport fra Miljøstyrelsen Nr. 8 2005.  
<http://www.miljøstyrelsen.dk/Publikationer>

Ramsay, L., 2006. Udvidet vandbehandling for arsen. Udarbejdet af Watertech  
for Storstrøms Amt.

Ramsay, L., 2009: Arsen i dansk grundvand og drikkevand. Bind 2: Arsen i  
drikke-vand. Arbejdsrapport til Vandpuljen. <http://www.blst.dk/Publikationer>



Miljøministeriet  
By- og Landskabsstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø

Telefon 72 54 47 00  
[blst@blst.dk](mailto:blst@blst.dk)  
[www.blst.dk](http://www.blst.dk)