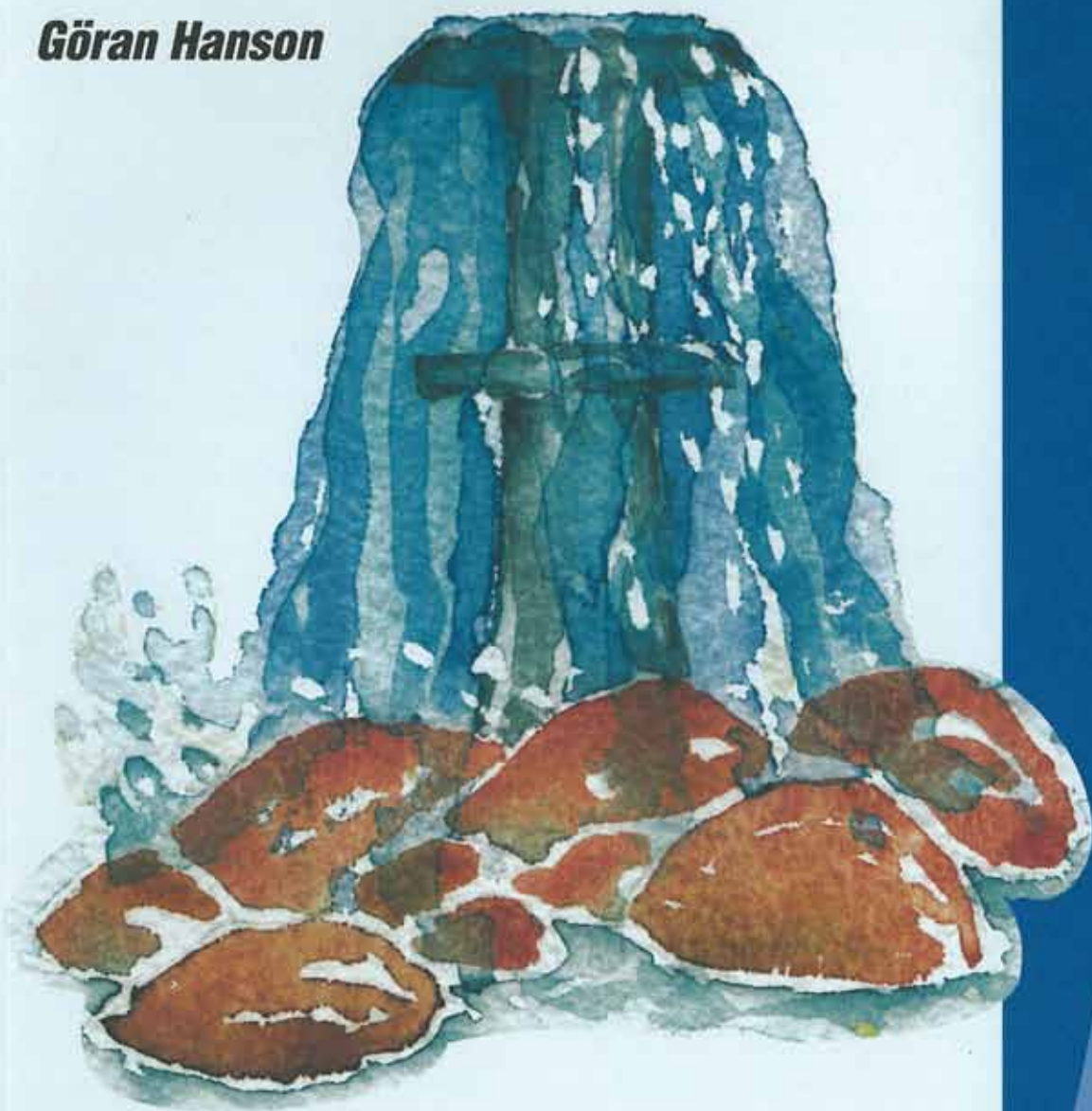


# ***Konstgjord grundvattenbildning***

***100-årig teknik inom svensk  
dricksvattenförsörjning***

***Göran Hanson***



0 • 5

**VA-FORSK  
RAPPORT  
2000 • 5**

 **VA-FORSK**

**VAV**

# VA-FORSK

VA-FORSK är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig och intresset från kommunernas sida har varit mycket stort. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-FORSK initierades gemensamt av Kommunförbundet och VAV. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten  
Ledningsnät  
Avloppsvattenrening  
Ekonomi och organisation  
Utbildning och information

VA-FORSK styrs av en kommitté, som utsetts gemensamt av VAV och Kommunförbundet. Kommittén är underställd VAVs styrelse. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

|                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| Ola Burström, ordförande   | Skellefteå          |
| Peter Balmér               | GRYAAB, Göteborg    |
| Roger Bergström            | VAV                 |
| Bengt Göran Hellström      | Stockholm Vatten AB |
| Pär Jönsson                | Östersund           |
| Sören Larsson              | Hallsberg           |
| Peeter Maripuu             | Lysekil             |
| Stefan Marklund            | Luleå kommun        |
| Åsa Möller                 | Sundsvall           |
| Peter Stahre               | VA-verket Malmö     |
| Jan Söderström             | Sv kommunförbundet  |
| Asle Aasen, adjungerad     | NORVAR, Norge       |
| Maria Byström, sekreterare | VAV                 |

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande VAVs ståndpunkt.

VA-FORSK  
VAV AB  
101 53 STOCKHOLM  
Tel: 08-677 25 70  
Fax: 08-677 25 75

VAV AB är servicebolag till Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen

# ***Konstgjord grundvattenbildning***

***100-årig teknik inom svensk  
dricksvattenförsörjning***

***Göran Hanson***

**VA-FORSK  
RAPPORT  
2000 • 5**

Utgiven av VAV AB



VA-FORSK

**VAV**

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Rapportens titel:</b>        | Konstgjord grundvattenbildning – 100-årig teknik inom svensk dricksvattenförsörjning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |
| <b>Title of the report:</b>     | Artificial groundwater recharge – A method used in Swedish drinking water supply for 100 years                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  |
| <b>Rapportens beteckning</b>    | 2000 • 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                  |
| <b>Nr i VA-FORSK-serien:</b>    | 1102-5638                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                  |
| <b>ISSN-nummer:</b>             | 91-89182-41-3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                  |
| <b>ISBN-nummer:</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                  |
| <b>Författare:</b>              | Göran Hanson, VBB VIAK AB (numera Länsstyrelsen i Stockholms län)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                  |
| <b>Utgivare:</b>                | VAV AB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                  |
| <b>VA-FORSK projekt nr:</b>     | 96-106                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                  |
| <b>Projektets namn:</b>         | Konstgjord grundvattenbildning – nyvaknat intresse för 100-årig teknik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                  |
| <b>Projektets finansiering:</b> | VA-FORSK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                  |
| <b>Rapporten beställs från:</b> | AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                  |
| <b>Rapportens omfattning</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                  |
| <b>Sidantal:</b>                | 220                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                  |
| <b>Format:</b>                  | A4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |
| <b>Upplaga:</b>                 | 2200                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |
| <b>Sökord:</b>                  | Dricksvatten, dricksvattenberedning, konstgjord grundvattenbildning, konstgjord infiltration, bassänginfiltration, inducerad infiltration, djupinfiltration, brunnsinfiltration, sprinklerinfiltration, återinfiltration, ytvattenskydd, grundvattenskydd, organiskt material, spårämnesförsök                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  |
| <b>Keywords:</b>                | Drinking water, drinking water supply, artificial recharge of groundwater, groundwater recharge, basin infiltration, pond infiltration, bank filtration, deep infiltration, well injection, sprinkler infiltration, re-infiltration, surface water protection, groundwater protection, organic material, tracer test                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |
| <b>Sammandrag:</b>              | Rapporten redovisar erfarenheter av konstgjord grundvattenbildning från forsknings- och utvecklingsprojekt samt praktisk verksamhet vid ett trettiotal studerade kommunala infiltrationsanläggningar. Fyra metoder beskrivs: bassänginfiltration, inducerad infiltration, djupinfiltration (brunnsinfiltration) och sprinklerinfiltration. Dessutom presenteras utformning av de olika delarna av en infiltrationsanläggning, för- och efterbehandling, skydd av infiltrationsanläggningar, miljö- och omvärldsaspekter samt framtidsutsikter.                             |                                                  |
| <b>Abstract:</b>                | The report describes Swedish experiences of artificial groundwater recharge based on research and development projects as well as practical work at some thirty studied municipal infiltration plants. Four methods are described: pond infiltration, bank filtration, deep infiltration (well injection) and sprinkler infiltration. Furthermore, design and construction of the various parts of an infiltration plant, pre-treatment and post-treatment, protection of infiltration plants, environmental and social aspects as well as future prospects are presented. |                                                  |
| <b>Målgrupper:</b>              | Forskare<br>Högskolestuderande<br>Intresserad allmänhet<br>Kommunala förvaltningar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Konsulter<br>Statliga myndigheter<br>VA-personal |
| <b>Utgivningsår:</b>            | 2000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |
| <b>Pris 2000:</b>               | 375 kr, exkl moms                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                  |
| <b>Omslagsbild:</b>             | Karin Blombergsson                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |

## Sammanfattning

Tekniken att framställa konstgjort grundvatten genom infiltration av ytvatten har praktiserats i Europa sedan i början av 1800-talet. I Sverige lanserades "konstgjord infiltration" (=bassänginfiltration) i slutet av 1800-talet av prof J Gust Richert, grundare av Vattenbyggnadsbyrån (VBB). Den första infiltrationsanläggningen stod klar 1898 vid Alelyckan till vattenförsörjningen i Göteborg. Anläggningen drevs i nästan 100 år men är idag nedlagd. Även för Stockholm presenterade prof Richert kringsekelskiftet ett förslag till infiltration av mälervatten i grusåsarna kring Bornsjön och på Ekerö, en idé som aktualiserades i slutet av 1990-talet. Efter omfattande utredningar och försök visade det sig emellertid inte i nuläget realistiskt att satsa på konstgjort grundvatten för Storstockholms framtida vattenförsörjning, främst på grund av otillräcklig avskiljning av organiskt material i den omättade zonen. Malmö/Lundregionen däremot försörjs delvis, sedan lång tid tillbaka, med konstgjort grundvatten från Sveriges största infiltrationsanläggning, Vombverket.

Rapporten utgör en sammanställning av erfarenheter från olika metoder för konstgjord grundvattenbildning. Den bygger till stor del på intervjuer med VA-personal från ett drygt trettiotal kommunala infiltrationsanläggningar. Ämnen som tas upp i rapporten är en historik över teknikutvecklingen, olika användningsområden för infiltration samt reningsprocesser såväl vid naturlig som konstgjord infiltration. Huvuddelen av rapporten ägnas åt att beskriva tre infiltrationsmetoder som används i Sverige: *bassänginfiltration* (även kallat "konstgjord infiltration"), *inducerad infiltration* och *djupinfiltration* (infiltration på brunnar). Dessutom presenteras finska erfarenheter av *sprinklerinfiltration* (infiltration i naturmark), en metod som hittills inte tillämpats i Sverige.

Rapporten beskriver även olika för- och efterbehandlingsmetoder, skyddsaspekter, forskning och utveckling (FoU), miljö- och omvärldsaspekter samt infiltrationsmetodernas framtidspotential. Fortsatt FoU-verksamhet föreslås avseende specialutformning av filterbäddar, t ex genom användning av högadsorptiva filtermedia för att förbättra avskiljningen av bl a organiskt material, eller inblandning av finkrossad kalksten i filterbäddarna för att höja vattnets pH, alkalinitet och hårdhet. Sprinklerinfiltration är en intressant teknik som föreslås bli utprovad vid någon kommunal anläggning, helst under forskningsmässiga betingelser. En utökad FoU-verksamhet avseende mikrobiologiska processer vid infiltration förordas.

En jämförelse mellan de olika infiltrationsmetoderna visade att bassänginfiltration har störst negativa miljökonsekvenser, inducerad infiltration minst. I jämförelsen antogs vid inducerad infiltration efterbehandling ske genom återinfiltration (för att avlägsna järn och managan); vid djupinfiltration förbehandling genom långsamfiltrering (för att bl a avskilja organiskt material och undvika igensättningar i infiltrationsbrunnarna), vid bassänginfiltration förbehandling genom mikrosilning (för att avlägsna suspenderat material); vid sprinklerinfiltration varken för- eller efterbehandling. En jämförelse mellan enbart grundmetoderna skulle inte varit rättvisande.

Slutligen bedöms konstgjord grundvattenbildning fortsätta att vara en viktig teknik inom svensk dricksvattenberedning en lång tid framöver.

## Summary

Artificial recharge of groundwater has been practised in Europe since the beginning of the nineteenth century. In Sweden, artificial recharge of groundwater (pond infiltration) was introduced by Professor J Gust Richert, during the 1890s. The first recharge plant was ready in 1898 at Alelyckan for the water supply of Gothenburg. Professor Richert also presented a proposal for the water supply to Stockholm based on infiltration of water from Lake Mälaren into eskers (natural sand and gravel deposits) on the island of Ekerö to the north and at Södertörn to the south of Lake Mälaren. This idea resurfaced towards the end of the 1990s. Based on extensive investigations and trials it was, however, concluded that artificially recharged groundwater is at present not a realistic alternative for the future water supply of the Greater Stockholm Area, mainly due to insufficient removal of organic matter in the unsaturated zone. However, for a long time now, the Malmö/Lund Region in Southern Sweden obtains part of its water supply, in the form of artificially recharged groundwater, from Sweden's largest artificial recharge plant, the Vomb Waterworks.

The present report provides a "state-of-the-art" compilation of Swedish experiences from different recharge methods. It is mainly based on interviews with staff at more than thirty Swedish municipal recharge plants. The report presents the technological development of artificial recharge in Sweden, its various uses as well as the purification processes during both natural and artificial recharge conditions. The main part of the report describes three recharge methods adopted in Sweden: *Pond infiltration*, *bank filtration* and *deep infiltration* (infiltration through wells). Apart from these methods, Finnish experiences of *sprinkler infiltration* (infiltration on natural ground) are also presented. This method has not yet been adopted in Sweden.

The report also describes different methods of pre-treatment and post-treatment, protection measures, research and development (R&D), environmental and societal aspects as well as future potential of the different recharge methods. Continued R&D work is proposed for the development of specially designed filter beds. One type is highly absorptive filter media, in order to improve the removal of organic matter. Another type is the admixture of fine-grained limestone in filter beds to raise pH, alkalinity and hardness of the infiltration water. Sprinkler infiltration is recommended for testing at a Swedish municipal plant, preferably under research conditions. An expanded R&D activity in the field of microbiological processes in connection with artificial recharge of groundwater is also recommended.

A comparison between the various methods of artificial recharge adopted by the Nordic countries shows that pond filtration has the most negative environmental consequences, and bank filtration the least. In the comparison, the raw water in bank filtration was assumed to be post-treated by means of re-infiltration, in deep infiltration it was assumed to be pre-treated through slow-sand filtration and in pond infiltration, pre-treated by micro-filtration. The raw water in sprinkler infiltration was assumed to undergo no treatment at all. Comparing only the basic methods without taking the need for pre-treatment and post-treatment into consideration, would not give a correct answer.

The report concludes that artificial recharge of groundwater will continue to be an important technology in Swedish drinking water supply for many years to come.

## Förord

VA-FORSK har sedan i början av 1990-talet gett stöd åt forskning och utveckling inom teknikområdet ”konstgjord grundvattenbildning”.

Detta projekt startade 1996 på initiativ av Jan Falk, forskningschef vid VA-FORSK, och Göran Hanson, hydrogeolog på konsultföretaget VBB VIAK. Syftet har varit att presentera uppnådda forskningsresultat i ämnet samt komplettera dessa med praktiska erfarenheter från ett sekellångt nyttjande av tekniken inom svensk dricksvattenberedning.

I rapporten presenteras fyra metoder för konstgjord grundvattenbildning inom kommunal dricksvattenförsörjning (bassänginfiltration, inducerad infiltration, djupinfiltration och sprinklerinfiltration), samt vanliga för- och efterbehandlingsmetoder. Rapporten belyser även historik och teknikutveckling, olika användningsområden för infiltration, naturförutsättningar, reningsprocesser vid infiltration, skyddsaspekter, forskning och utveckling samt miljö- och omvärldsaspekter. I slutkapitlet sammanfattas erfarenheterna av konstgjord grundvattenbildning och teknikens framtidsutsikter bedöms.

Underlag till rapporten har erhållits vid besök av ett trettiotal kommunala infiltrationsanläggningar och genom de intervjuer som då gjorts med VA-pesonal samt diskussioner med forskare, konsulter, entreprenörer och leverantörer. Dessutom har information inhämtats från forskningsrapporter, examensarbeten vid högskolor, statliga och kommunala utredningar samt artiklar i fackpress.

Akvareller har valts för att illustrera olika naturliga processer där vatten medverkar. Tanken har varit att genom akvarelltekniken och dess gradvisa färgskiftningar kunna uppnå ytterligare en dimension. Varje akvarell i sig har inneburit en process – ett möte mellan teknik, naturvetenskap och konst.

Nedan följer en förteckning över besökta infiltrationsanläggningar och på de personer som på olika sätt medverkat i arbetet.

### Besökta infiltrationsanläggningar och personer som medverkat i studien

| Kommun                 | Anläggning            | Namn                                                              |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Borgholm               | Löttorp<br>Köpingsvik | Stefan Jessen<br>Roland Johansson<br>Bo Persson<br>Roger Persson  |
| Ekerö                  | Skytteholm            | Jan Peter Edlund                                                  |
| Emmaboda               | Getasjökvärn          | Sune Gustavsson                                                   |
| Eskilstuna             | Hyndevad              | Bruno Hedspång<br>Gunilla Kaurin<br>Leif W Linde<br>Magnus Wallin |
| Falkenberg             | Kärreberg<br>Jonstorp | Karl Arne Johansson<br>Roland Johansson                           |
| Gnesta                 | Visbohammar           | Jesper Feddersen                                                  |
| Hallstahammar          | Näs                   | Ive Blomberg                                                      |
| Hovmantorp             | Hacksjön              | Bengt Erik Bengtsson                                              |
| Hudiksvall             | Hudiksvall            | Lars Holmberg<br>Erik Schenell                                    |
| Karlskoga              | Gälleråsen            | Yngve Persson<br>Göran Spåre                                      |
| Karlstad               | Sörmon                | Åke Sjögren                                                       |
| Katrineholm            | Kerstinboda           | Esbjörn Käll<br>Arne Norlin<br>Claes Wislander                    |
| Kristinehamn           | Sandköping            | Kurt Eriksson<br>Gordon Perzon                                    |
| Luleå                  | Gäddvik               | Sixten Aronsson<br>Stefan Marklund                                |
| Malmö/<br>Lundregionen | Vombverket            | Lars-Anders Fridström<br>Bo Petersson                             |
| Nyköping/<br>Oxelösund | Högåsen               | Alf Dahlin<br>Lajos Nagy                                          |

|            |                            |                                                                                       |
|------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Olofström  | Lilla Holje                | Lars Edebrand<br>Arne Pettersson                                                      |
| Osby       | Maglaröd                   | Göran Johansson                                                                       |
| Ronneby    | Kärragårdsverket           | Hans Göran Karlsson                                                                   |
| Sundsvall  | Grönsta<br>Nolby<br>Wifsta | Thorsten Liljeholm<br>Mats Bergmark                                                   |
| Surahammar | Rävnäs                     | Peter Järnberg<br>Inge Karlsson                                                       |
| Södertälje | Djupdal<br>Järna           | Ulf Jaehnke<br>Anders Landström<br>Claes-Göran Lundgren                               |
| Uppsala    | Tunåsen                    | Sven Ahlgren<br>Dick Klingvik                                                         |
| Vetlanda   | Upplanda                   | Jan Hanell<br>Leif Lorentzon<br>Göran Nilsson                                         |
| Västerås   | Fågelbacken<br>Hässlö      | Ola Fall<br>Torbjörn Strömberg<br>Göran Vikergård<br>Birger Wallsten<br>Osborn Wedlin |
| Älmhult    | Älmhult                    | Göran Jonson                                                                          |
| Ängelholm  | Brandsvig                  | Kaj Agrell<br>Jonny Dahlin<br>Krister Sundelius                                       |
| Örebro     | Skråmsta                   | Royne Larsson                                                                         |

**Övriga anläggningar som har studerats/besökts:**

|            |                                                          |                                               |
|------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Ekerö      | Brygga<br>(grundvattenvärme/<br>inducerad infiltration)  | Anders Garmark<br>Jack Lundin<br>Nils Persson |
| Mariestad  | Stallbrorgrund<br>(försök med inducerad<br>infiltration) | Ove Ekberg                                    |
| Norrvatten | Görvåln<br>(ytvattenverk)                                | Per Ericsson<br>Ulrika Larsson                |
| Oskarshamn | Forshult<br>(försöksinfiltration)                        | Jan Sandberg                                  |

|                     |                                   |                               |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Pajala              | Pajala<br>(återinfiltration)      | Bert-Åke Koivumaa             |
| Piteå               | Hemlunda<br>(försöksinfiltration) | Bo Sandgren                   |
| Stockholm<br>Vatten | Norsborg<br>(kolonnförsök)        | Johanna Blomberg<br>Jan Hjort |

Två finska anläggningar med sprinklerinfiltration har besökts.

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Borgå      | Karl-Gustav Björkell<br>Rabbe Hellman |
| Tavastehus | Heljä-Sisko Helmisaari                |

Ett stort antal forskare, entrepenörer och leverantörer har medverkat i studien. Flera av konsulterna har deltagit vid besök av anläggningar.

|                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| Anders Eriksson    | J&W, Stockholm                        |
| Cristina Frycklund | KTH, numera VAI-VA Projekt            |
| Christer Gedda     | KM, Halmstad                          |
| Lars Nordenhök     | UTM Svenska AB                        |
| Magnus Nilsson     | Nordic Water Products                 |
| Klas Hellsten      | Hellstens Schaktservice               |
| Gunnar Jacks       | KTH, avd för Mark- och vattenresurser |
| Håkan Kinnerberg   | Vatten och Samhällsteknik, Jönköping  |
| Dalibor Sedlak     | Weda Vatten                           |
| Lena Tilly         | VAI-VA Projekt                        |
| Jan-Åke Ledel      | Mark och Vatteningenjörerna, Växjö    |
| Bengt Wiik         | Akva Terra, Örebro                    |

Medarbetare vid VBB VIAK:s kontor runtom i landet har medverkat vid anläggningsbesök samt i olika uppföljningar.

|                    |                                    |
|--------------------|------------------------------------|
| Mats Bergmark      | Sundsvall, numera Sundsvall Vatten |
| Thorsten Blomquist | Örebro                             |

|                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| Robert Jönsson  | Luleå, numera Bothniakonsult |
| Håkan Djurberg  | Stockholm                    |
| Mats Käll       | Jönköping                    |
| Magnus Liedholm | Göteborg                     |
| Leif Lundholm   | Stockholm                    |
| Jan Nilsen      | Karlstad                     |
| Lars Nilsson    | Göteborg                     |
| Bertil Sundlöf  | Växjö/Kristianstad           |

Projektet presenterades vid ett regionalt VAV-möte i Örebro den 25-26 mars 1998. I samband med VA '98 på Stockholmsmässan publicerades en artikel "Konstgjord grundvattenbildning – högaktuell hundraåring" i VAV-Nytt 4/98 (mässnumret). I VAV-Nytt 5/99 finns också en artikel om projektet "Konstgjord grundvattenbildning – dricksvatten på biologiskt vis".

Projektet har finansierats med medel från VA-FORSK. Som referensgrupp har VAV:s Dricksvattenkommitté fungerat. Handläggare har varit Gullvy Hedenberg, VAV som även ingår i Dricksvattenkommittén och som lämnat många värdefulla synpunkter på rapporten. Jan Falk, VA-FORSK har under hela projektets gång uppmuntrat mig i arbetet och kommit med konstruktiva förslag och synpunkter.

En referensgrupp inom VBB VIAK bestående av Rolf Bergström, Per-Olof Johansson och Bertil Sundlöf har följt arbetet under hela projekttiden och ställt upp i diskussioner och på alla sätt stöttat mig samt granskat rapportmanuskriptet i flera omgångar.

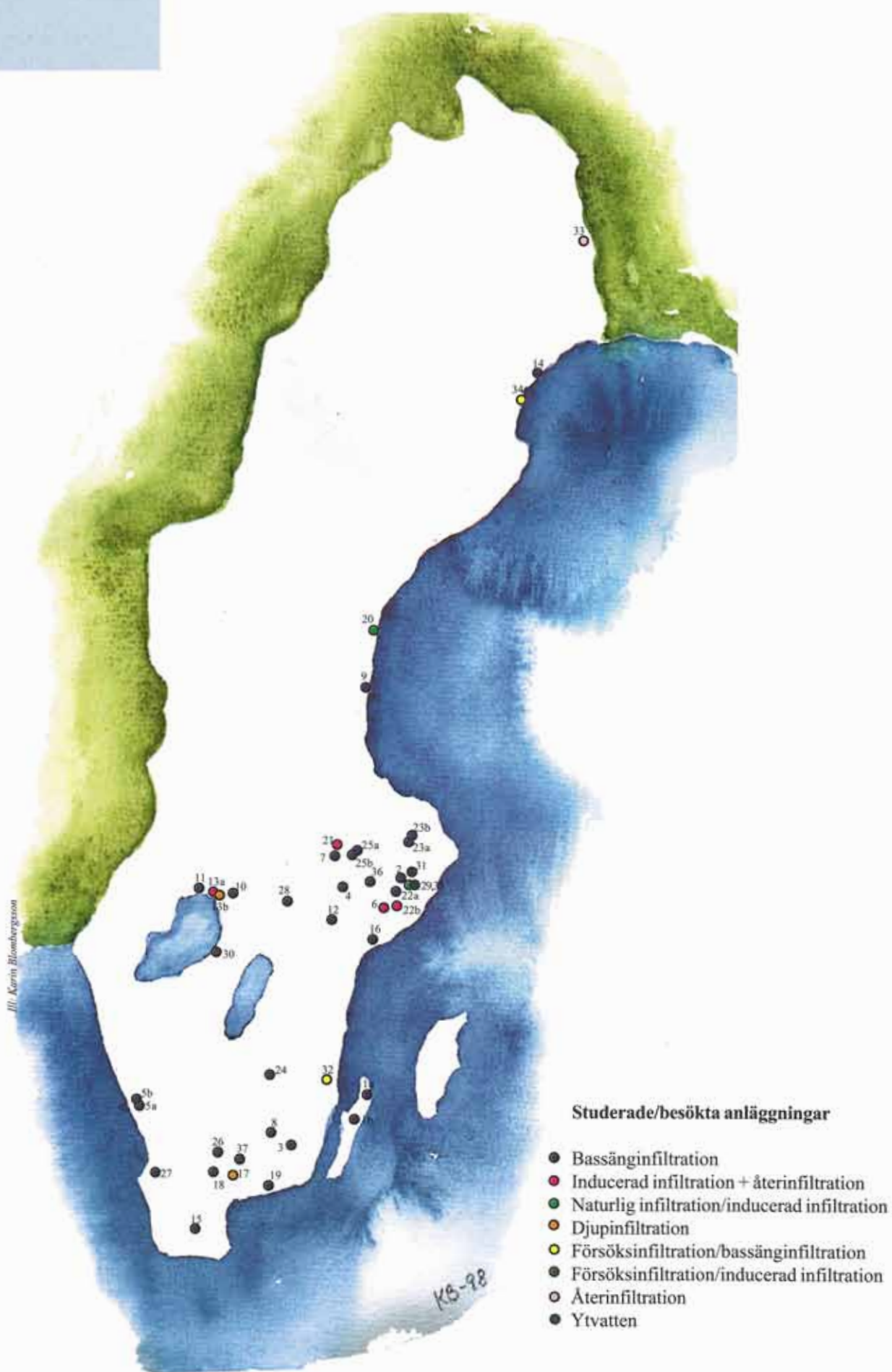
Rapporten bygger mycket på de akvareller som Karin Blombergsson målat. Vad vore rapporten dem förutan?

Gabriella Westin har skickligt och engagerat utformat rapporten och redigerat text och illustrationer.

Till alla som medverkat i arbetet så att denna rapport kunnat se dagens ljus, vill jag rikta ett stort tack!

Stockholm i mars 2000

Göran Hanson



| <b>Kommun</b>             | <b>Anläggning</b>                | <b>Kommun</b> | <b>Anläggning</b>             |
|---------------------------|----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 1 Borgholm                | 1a Löttorp<br>1b Köpingsvik      | 21 Surahammar | Rävnäs                        |
| 2 Ekerö                   | Skytteholm                       | 22 Södertälje | 22a Djupdal<br>22b Järna      |
| 3 Emmaboda                | Getasjökvärn                     | 23 Uppsala    | 23a Tunåsen<br>23b Störvreta  |
| 4 Eskilstuna              | Hyndevad                         | 24 Vetlanda   | Upplanda                      |
| 5 Falkenberg              | 5a Kärreberg<br>5b Jonstorp      | 25 Västerås   | 25a Fågelbacken<br>25b Hässlö |
| 6 Gnesta                  | Visbohammar                      | 26 Älmhult    | Älmhult                       |
| 7 Hallstahammar           | Skantzen/Näs                     | 27 Ängelholm  | Brandsvig                     |
| 8 Hovmantorp              | Hacksjön                         | 28 Örebro     | Skråmsta                      |
| 9 Hudiksvall              | Hudiksvall                       | 29 Ekerö      | Brygga                        |
| 10 Karlskoga              | Gälleråsen                       | 30 Mariestad  | Stallbrorgrund<br>(Vänern)    |
| 11 Karlstad               | Sörmon                           | 31 Norrvatten | Görvål                        |
| 12 Katrineholm            | Kerstinboda                      | 32 Oskarshamn | Forshult                      |
| 13 Krisinehamn            | 13a Långholmen<br>13b Sandköping | 33 Pajala     | Pajala                        |
| 14 Luleå                  | Gäddvik                          | 34 Piteå      | Hemlunda                      |
| 15 Malmö/Lund             | Vombverket                       | 35 Stockholm  |                               |
| 16 Nyköping-<br>Oxelösund | Högåsen                          | Vatten        | Norsborg                      |
| 17 Olofström              | Lilla Holje                      | 36 Strängnäs  | Gorsingeholm                  |
| 18 Osby                   | Maglaröd                         | 37 Tingsryd   | Norråryd                      |
| 19 Ronneby                | Kärrgårdverket                   |               |                               |
| 20 Sundsvall              | Grönsta<br>Nolby<br>Wifsta       |               |                               |



# Innehållsförteckning

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Sammanfattning</b>                                                    | III |
| <b>Summary</b>                                                           | IV  |
| <b>Förord</b>                                                            | VI  |
| <b>Kap 1 Inledning</b>                                                   | 1   |
| Bakgrund                                                                 | 2   |
| Nordiska infiltrationsmetoder                                            | 2   |
| Övriga infiltrationsmetoder                                              | 4   |
| Konstgjord grundvattenbildning - erfarenheter och utvecklingsmöjligheter | 4   |
| Forskning och framtid                                                    | 6   |
| Historik                                                                 | 7   |
| Användningsområden                                                       | 13  |
| Användning för dricksvattenförsörjning                                   | 13  |
| Förstärkning av den naturliga grundvattenbildningen                      | 13  |
| Ytvattenbehandling                                                       | 13  |
| Vattenbehandling genom blandning av yt- och grundvatten                  | 14  |
| Övriga användningsområden                                                | 14  |
| Grundvattenvärme                                                         | 14  |
| Temperaturutjämning för kylvatten                                        | 15  |
| Grundvattennivåkontroll                                                  | 16  |
| Hydraulisk spärr                                                         | 16  |
| Lästips                                                                  | 17  |
| <b>Kap 2 Reningsprocesser vid infiltration</b>                           | 19  |
| Reningsprocesser vid naturlig infiltration                               | 20  |
| Marken - naturens eget reningsverk                                       | 20  |
| Reningsprocesser vid bassänginfiltration                                 | 22  |
| Infiltrationsmängder                                                     | 22  |
| Från ytvatten till grundvatten                                           | 22  |
| Sämrre reningsförmåga vid mättat flöde                                   | 24  |
| Bevara den naturliga markprofilen                                        | 25  |
| Reningsprocesser vid inducerad infiltration                              | 25  |
| Lästips                                                                  | 27  |
| <b>Kap 3 Bassänginfiltration</b>                                         | 29  |
| Naturförutsättningar                                                     | 30  |
| Metodbeskrivning                                                         | 32  |
| Anläggningsöversikt                                                      | 33  |
| Planering av bassänginfiltration                                         | 36  |
| Val av råvattentäkt - lokalisering av intagsplats                        | 36  |
| Lokalisering av infiltrationsplats                                       | 37  |
| Vattenbehandling - kolonnförsök                                          | 39  |
| Lokalisering av uttagsplats - brunnssområde                              | 39  |
| Försöksinfiltration                                                      | 40  |
| Pilotförsök - för- och efterbehandling                                   | 41  |
| Utformning av bassänginfiltrationsanläggningar                           | 42  |
| Vattenintag/pumpstation                                                  | 42  |
| Infiltrationsbassänger                                                   | 42  |
| Filterbäddar/filtersand                                                  | 47  |
| Specialutformning av filterbäddar                                        | 48  |

|              |                                                             |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------|-----|
|              | Inblandning av kalksten .....                               | 49  |
|              | Praktiska erfarenheter .....                                | 50  |
|              | Slutsatser .....                                            | 53  |
|              | <b>Brunnar och brunnsöverbyggnader</b> .....                | 54  |
|              | Brunnar - dimensionering och anläggning .....               | 54  |
|              | Brunnsöverbyggnader .....                                   | 56  |
|              | <b>Uppehållstid och säkerhetsbarriärer</b> .....            | 57  |
|              | Uppehållstider .....                                        | 57  |
|              | Säkerhetsbarriärer .....                                    | 60  |
|              | <b>Behandlingseffekter</b> .....                            | 61  |
|              | Fysikaliskt - kemiska behandlingseffekter .....             | 61  |
|              | <b>Drift och underhåll</b> .....                            | 69  |
|              | Naturförutsättningar .....                                  | 69  |
|              | Hydraulisk belastning .....                                 | 71  |
|              | Vinterdrift .....                                           | 72  |
|              | <b>Rensning av infiltrationsbassänger</b> .....             | 74  |
|              | Rensningsintervall .....                                    | 75  |
|              | Rensningsutrustning .....                                   | 76  |
|              | Tvättning av filtersand .....                               | 77  |
|              | <b>Igensättningar av filterbäddar och marklager</b> .....   | 80  |
|              | Igensättningar - olika typer och förekomst .....            | 80  |
|              | Processer vid igensättning .....                            | 82  |
|              | Praktiska erfarenheter .....                                | 83  |
|              | Drift och underhåll av brunnar och undervattenspumpar ..... | 86  |
|              | Lästips .....                                               | 87  |
| <b>Kap 4</b> | <b>Övriga infiltrationsmetoder</b> .....                    | 89  |
|              | <b>Inducerad infiltration</b> .....                         | 90  |
|              | Naturförutsättningar .....                                  | 90  |
|              | Metodbeskrivning .....                                      | 90  |
|              | Anläggningsöversikt .....                                   | 92  |
|              | Behandlingseffekter .....                                   | 92  |
|              | Uppehållstider .....                                        | 96  |
|              | Drift och underhåll .....                                   | 98  |
|              | <b>Djupinfiltration</b> .....                               | 100 |
|              | Metodbeskrivning .....                                      | 100 |
|              | Praktiska erfarenheter .....                                | 101 |
|              | <b>Sprinklerinfiltration</b> .....                          | 105 |
|              | Metodbeskrivning .....                                      | 105 |
|              | Finska erfarenheter .....                                   | 105 |
|              | Lästips .....                                               | 109 |
| <b>Kap 5</b> | <b>För och efterbehandling</b> .....                        | 111 |
|              | <b>Orientering</b> .....                                    | 112 |
|              | <b>Förbehandling</b> .....                                  | 113 |
|              | Råvattenintag .....                                         | 113 |
|              | Mikrosilning .....                                          | 114 |
|              | Snabbfiltrering .....                                       | 114 |
|              | Förfiltrering i öppna filter .....                          | 115 |
|              | Långsamfiltrering .....                                     | 116 |
|              | Kemisk flockning och sedimentering .....                    | 117 |
|              | Kontaktfiltrering .....                                     | 119 |
|              | <b>Efterbehandling</b> .....                                | 120 |
|              | Återinfiltration .....                                      | 120 |

|              |                                                                                                                           |            |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|              | Vyredox - metoder .....                                                                                                   | 122        |
|              | Hårdgörning och alkalinitetsökning .....                                                                                  | 124        |
|              | Avhärdning och alkalinitetsminskning .....                                                                                | 125        |
|              | Minskning av halten organiskt material med ozon - aktivt kolfiltrering..                                                  | 125        |
|              | Lästips .....                                                                                                             | 126        |
| <b>Kap 6</b> | <b>Skydd av infiltrationsanläggningar .....</b>                                                                           | <b>127</b> |
|              | Skydd av yt- och grundvatten .....                                                                                        | 128        |
|              | Skyddsåtgärder inom avrinningsområden .....                                                                               | 129        |
|              | Försurning av nederbörd och vattendrag .....                                                                              | 129        |
|              | Övergödning av sjöar och vattendrag-algblomning .....                                                                     | 129        |
|              | Hög grumlighet i vattendragen .....                                                                                       | 129        |
|              | Hot och olyckor i infiltrationsanläggningar .....                                                                         | 130        |
|              | Långsamma vattenkvalitetsförändringar .....                                                                               | 130        |
|              | Olyckor och olyckstillbud .....                                                                                           | 130        |
|              | Vattenskyddsområden .....                                                                                                 | 132        |
|              | Brunnsområde .....                                                                                                        | 132        |
|              | Inre skyddzon .....                                                                                                       | 132        |
|              | Yttre skyddszon .....                                                                                                     | 133        |
|              | Skyddsföreskrifter .....                                                                                                  | 133        |
|              | Katastrofberedskap .....                                                                                                  | 134        |
|              | Praktiska erfarenheter av skyddsåtgärder .....                                                                            | 136        |
|              | Katrineholm .....                                                                                                         | 136        |
|              | Karlskoga .....                                                                                                           | 138        |
|              | Uppsala .....                                                                                                             | 139        |
|              | Norråyd .....                                                                                                             | 140        |
|              | Lästips .....                                                                                                             | 141        |
| <b>Kap 7</b> | <b>Forskning och utveckling .....</b>                                                                                     | <b>143</b> |
|              | Allmänt .....                                                                                                             | 144        |
|              | Äldre forsknings- och utvecklingsprojekt .....                                                                            | 145        |
|              | Genomgång av tretton svenska anläggningar, Victor Jansa 1952 .....                                                        | 145        |
|              | Försök vid Hyndevadsverket i Eskilstuna .....                                                                             | 146        |
|              | VA-FORSK projekt .....                                                                                                    | 147        |
|              | Artificial Groundwater Recharge-State of the Art .....                                                                    | 147        |
|              | Konstgjord grundvattenbildning-Nulägesbeskrivning av tjugo svenska anläggningar .....                                     | 148        |
|              | Algtoxiner i dricksvatten - En undersökning vid två svenska vattenverk samt en litteraturstudie .....                     | 149        |
|              | Konstgjord grundvattenbildning - Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration .....                   | 150        |
|              | Spårämnesförsök som undersökningsmetodik vid konstgjord grundvattenbildning .....                                         | 152        |
|              | Konstgjord grundvattenbildning - avskiljning av organiskt material i den omättade zonen .....                             | 153        |
|              | VA-FORSK-projektet "Infiltration - igensättning av marklager" och EU-projektet "Artificial Recharge of Groundwater" ..... | 156        |
|              | Avhandlingar och examensarbeten .....                                                                                     | 159        |
|              | Den konstgjorda grundvattenbildningens kemi .....                                                                         | 160        |
|              | Artificial recharge of groundwater for public water supply .....                                                          | 160        |
|              | Spårämnesförsök i konstgjort infiltrerat vatten .....                                                                     | 161        |
|              | Orsaker till igensättningar i infiltrationsbassänger vid konstgjord infiltration av ytvatten .....                        | 162        |
|              | Pågående forskning och utveckling .....                                                                                   | 162        |

|              |                                                                                          |            |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|              | Filter av järnoxidtäckt olivinsand för avskiljning av naturligt organiskt material ..... | 162        |
|              | <b>Forsknings- och utvecklingsbehov .....</b>                                            | <b>163</b> |
|              | Bassänginfiltration .....                                                                | 163        |
|              | Inducerad infiltration .....                                                             | 167        |
|              | Djupinfiltration .....                                                                   | 167        |
|              | Sprinklerinfiltration .....                                                              | 168        |
|              | Övriga användningsområden .....                                                          | 168        |
|              | <b>Lästips .....</b>                                                                     | <b>169</b> |
| <b>Kap 8</b> | <b>Miljö- och omvärldsaspekter .....</b>                                                 | <b>171</b> |
|              | <b>Allmänt .....</b>                                                                     | <b>172</b> |
|              | <b>Omvärldsaspekter .....</b>                                                            | <b>172</b> |
|              | Kretslopp och uthålliga VA-system .....                                                  | 172        |
|              | Konsumentinformation och -inflytande .....                                               | 173        |
|              | Vattnets värde .....                                                                     | 174        |
|              | <b>Miljöaspekter .....</b>                                                               | <b>176</b> |
|              | Miljökonsekvensbeskrivning vid konstgjord grundvattenbildning .....                      | 176        |
|              | Generella miljöeffekter vid konstgjord grundvattenbildning .....                         | 177        |
|              | Miljöeffekter vid olika infiltrationsmetoder .....                                       | 181        |
|              | Jämförelse av miljöeffekter för olika infiltrationsmetoder .....                         | 185        |
|              | Miljöeffekter vid bassänginfiltration jämfört med ytvattenförsörjning ....               | 187        |
|              | <b>Lästips .....</b>                                                                     | <b>189</b> |
| <b>Kap 9</b> | <b>Sammanfattning av erfarenheter och framtidsutsikter .....</b>                         | <b>191</b> |
|              | <b>Allmänt .....</b>                                                                     | <b>192</b> |
|              | <b>Erfarenheter av konstgjord grundvattenbildning .....</b>                              | <b>192</b> |
|              | Anläggningar och användningsområden .....                                                | 192        |
|              | Naturförutsättningar .....                                                               | 193        |
|              | Metodbeskrivningar .....                                                                 | 194        |
|              | Behandlingsresultat .....                                                                | 196        |
|              | Specialutformning av filterbäddar .....                                                  | 198        |
|              | Drift och underhåll .....                                                                | 198        |
|              | För- och efterbehandling .....                                                           | 199        |
|              | Skydd av infiltrationsanläggningar .....                                                 | 200        |
|              | Forskning och utveckling .....                                                           | 200        |
|              | Miljöeffekter .....                                                                      | 201        |
|              | <b>Framtidsutsikter .....</b>                                                            | <b>201</b> |
|              | Förundersökningar .....                                                                  | 201        |
|              | Förbehandling .....                                                                      | 202        |
|              | Drift och underhåll .....                                                                | 202        |
|              | Yt- och grundvattenskydd .....                                                           | 202        |
|              | Forsknings- och utvecklingsbehov .....                                                   | 203        |

# Kapitel 1

## Inledning



*J Gust Richert*

*Professor J Gust Richert*

## Bakgrund

I Sverige är vattenförsörjningen till ca 50 % baserad på ytvatten medan resterande del till ungefär lika delar utgörs av naturligt och konstgjort grundvatten. Konstgjort grundvatten produceras genom att den naturliga grundvattenbildningen ökas på olika sätt. Kan en naturprodukt som grundvatten verkligen vara konstgjord? Låt oss definiera några viktiga begrepp:

*Grundvattenbildning:* "den naturliga eller artificiella process, där vatten tillförs utifrån (nederbörd, ytvatten, bevattning etc) till den mättade zonen av en akvifer, antingen direkt till formationen eller indirekt via en annan formation" (fritt översatt efter Glossary of Hydrology, 1972).

*Konstgjord grundvattenbildning:* den artificiella process som nämns i definitionen av grundvattenbildning ovan.

*Akvifer:* "geologisk formation som kan avge vatten i betydande mängd" (fritt översatt efter Nordic Glossary of Hydrology, 1984).

*Konstgjord infiltration:* Begreppet lanserades i början på seklet och används ibland för att beskriva "bassänginfiltration", se nedan. Termen "konstgjord infiltration" används ibland även i en vidare bemärkelse, synonymt med begreppet "konstgjord grundvattenbildning". För att undvika missförstånd används i denna rapport konsekvent begreppen "konstgjord grundvattenbildning" och "bassänginfiltration". Denna terminologi har blivit praxis i forskningsrapporter och andra publikationer i ämnet under 1990-talet, bl a i samtliga VA-FORSK rapporter.

## Nordiska infiltrationsmetoder

I rapporten beskrivs fyra infiltrationsmetoder; av dessa används följande tre i Sverige:

- *Bassänginfiltration:* Avledning (oftast pumpning) av vatten från en sjö eller vattendrag till bassänger där det får infiltrera. Det infiltrerade vattnet pumpas sedan upp som grundvatten. Detta är den vanligaste infiltrationsmetoden inom svensk kommunal dricksvattenförsörjning.
- *Inducerad infiltration:* Pumpning ur brunnar i ett grundvattenmagasin som står i hydraulisk förbindelse med ett ytvatten. Genom uttaget uppstår ett läckage genom strand- och bottensedimenten. Även inducerad infiltration är en vanlig infiltrationsteknik. Det är dessutom troligt att inducerad infiltration förekommer vid ett flertal anläggningar utan att det är känt.
- *Djupinfiltration:* Infiltration av förbehandlat ytvatten i brunnar. Metoden används främst när täta jordlager förhindrar infiltration från markytan.

Dessutom beskrivs erfarenheter av en metod som används i Finland nämligen:

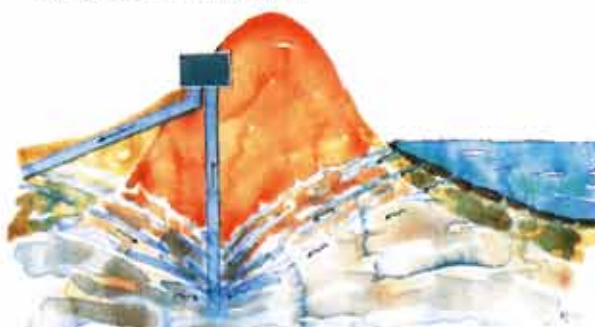
- *Sprinklerinfiltration.* Avledning (oftast pumpning) av ytvatten till naturmark där det normalt sprids i ett system av markförlagda, hålförsedda ledningar. Även termen "sprinklerbevattning" används för denna metod. Bevattning för dock tanken snarare till produktion av grödor än till produktion av grundvatten, därav valet av termen "sprinklerinfiltration". Eftersom det ännu inte finns några svenska exempel presenteras erfarenheter från två finska anläggningar i Tavastehus och Borgå.

I samtliga infiltrationsmetoder som används i Norden sker vattenuttaget med hjälp av brunnar på samma sätt som vid traditionell grundvattenförsörjning. Metoderna visas schematiskt på bild 1.1 nedan och beskrivs mer detaljerat i avsnitten "Metodbeskrivning" i kapitel 3 och 4.

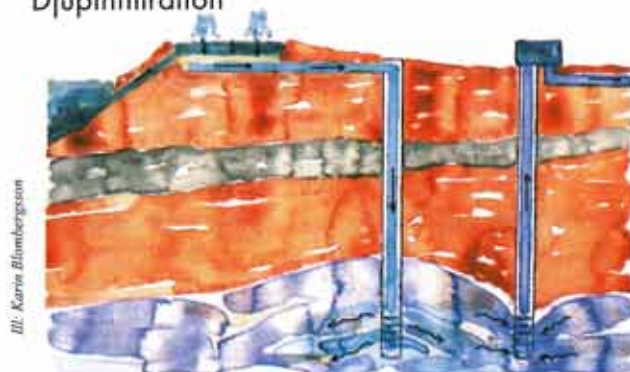
Bassänginfiltration



Inducerad infiltration



Djupinfiltration



Ill. Karin Blombergsson

Sprinklerinfiltration



Bild 1.1 Nordiska infiltrationsmetoder, se metodbeskrivningar i kapitel 3 och 4.

## Övriga infiltrationsmetoder

Internationellt används bl a följande infiltrationsmetoder:

- *Ytinfiltration*: Avledning (ibland pumpning) av flodvatten till ett markområde där vattnet får sjunka och infiltrera i jordlagren. Sprinklerinfiltration är en variant av ytinfiltration.
- *Brunnsinfiltration*: Avledning av flodvatten (ibland pumpning) till öppna brunnar. Metoden har sin största tillämpning i Asien (bl a Indien) men förekommer även i Nordafrika (bl a Marocko). Djupinfiltration på filterbrunnar som används i Sverige är en variant av brunnsinfiltration.
- *Infiltrationsdammar*: Infiltration från en damm/reservoar till omgivande grundvattenmagasin genom utläckage i botten eller utmed reservoarens sidor. I dessa dammar nyttjas läckaget för konstgjord grundvattenbildning och uttag sker i brunnar nedströms dammen och i dess omgivningar. Metoden används bl a i Nordafrika (Marocko).
- *Grundvattendammar*: En fördämning byggs i en floddal som endast periodvis är vattenförande. Reservoaren fylls medvetet med sand och grus genom avsättning av flodens bottentransporterade sediment. Vattnet tas ur brunnar direkt i reservoaren eller i omgivande grundvattenmagasin. Ofta uppstår ett läckage till omgivande grundvattenmagasin (konstgjord grundvattenbildning) som kan nyttjas genom uttag i brunnar. Grundvattendammar används främst i Sydeuropa, Afrika och Asien.

Se lästips: Hanson och Nilsson (1986)

Se lästips: Adolphsson och Petré (1996)

Tanken på grundvattendammar har även förekommit i Sverige. Pionjären på konstgjord grundvattenbildning i Sverige professor J Gust Richert lanserade idén redan i början på seklet men tekniken har aldrig utvecklats i Sverige. I ett examensarbete vid KTH framhålls metoden som intressant även för svensk vattenförsörjning.

De ovannämnda infiltrationsmetoderna förekommer knappast alls i Sverige och kommer därför inte att behandlas vidare i denna rapport.

## Konstgjord grundvattenbildning - erfarenheter och utvecklingsmöjligheter

Som rapportens titel anger har olika metoder för konstgjord grundvattenbildning använts i hundra år inom svensk dricksvattenförsörjning, vilket beskrivs i ett historiskt perspektiv i följande avsnitt. Rapporten belyser och försöker ge svar på en rad frågeställningar som är av betydelse för bedömning av infiltrationsmetodernas potential och framtida utvecklingsmöjligheter.

Framtidsforskare spår att nästa samhällsepok som tar över efter IT-samhället kommer att domineras av känslor och upplevelser i stället för dagens mer materiella innehåll. Estetiska frågor har dock alltid stått högt på agendan inom svensk vattenförsörjning. Vattnets lukt, färg och smak är något som konsumenterna omedelbart reagerar på om de inte är bra.

VAV:s populära tävling där landets vattenverk tävlade om vem som kunde producera det godaste vattnet kanske förebådar en sådan epok där nya värden introduceras. I tävlingen var vattnets smak och karaktär avgörande, inte de traditionella parametrarna som beskriver ett dricksvattnets fysikalisk-kemiska och mikrobiologiska kvalitet.

Även i denna rapport görs ett försök att engagera flera sinnen. Med hjälp av akvarellmålningar och färgfotografier, i vissa fall kombinerade till tredimensionella bilder försöker rapporten ge läsaren en förstärkt upplevelse (en ytterligare dimension) genom att färgskiftningar utnyttjas för att beskriva olika naturprocesser, t ex förändringar i vattenkvalitet vid infiltration, igensättningar, utfällningar i jordlager etc.

Några viktiga frågeställningar vid konstgjord grundvattenbildning:

- *Erfarenheter*: Vilka erfarenheter har gjorts under ett sekel med konstgjord grundvattenbildning? Vad har lyckats och misslyckats? Vad är värt att förbättra och vidareutveckla?
- *Metodval*: Vilka infiltrationsmetoder kommer att vinna terräng? - de etablerade metoderna som bassänginfiltration och inducerad infiltration, eller de mer oprövade som djupinfiltration och sprinklerinfiltration? - eller kommer det nya metoder och system?
- *Viktiga parametrar*: Hur stor betydelse har mäktigheten av omättad zon och transport i mättad zon, hydraulisk belastning och uppehållstid för behandlingsresultaten? Infiltration som säkerhetsbarriär? Är 14 dagars uppehållstid som Livsmedelsverket föreskriver ett relevant mått för omformningen av ett ytvatten till grundvatten? Hur ska uppehållstiden definieras och bestämmas?
- *Specialutformning av filterbäddar*: Kommer filterbäddar i framtiden att specialutformas för olika specifika behandlingseffekter, t ex inblandning av kalksten i filterbäddar för alkalinitets-, pH- och hårdhetsökning, inblandning av järn- och aluminiumhydroxider för avskiljning av organiskt material, inblandning av en kolkälla och näringsämnen för minskning av nitrathalter? Hur ska filtersandens kornstorleksfördelning (gradering) se ut - finare, jämnkornigare/ojämnkornigare eller som idag? Är sandtvätt bra eller sköljs finmaterial ut, vilket försämrar reningseffekterna?
- *Infiltration - huvudprocess eller för/efterbehandlingsprocess?* Ska infiltration användas som en reningsmetod eller är metoden bäst lämpad för temperaturutjämning och lagring av det infiltrerade vattnet som i en "låg-reservoar"? Bör infiltrationsvattnet ha dricksvattenkvalitet redan före infiltration - för säkerhets skull?
- *Skydd och sårbarhet*: Hur sårbara är infiltrationssystemen? Anläggningarna kräver både yt- och grundvattenskydd. Skydd av ytvatten har hittills försummats, delvis beroende på att det saknas råd och anvisningar motsvarande de som finns för grundvattenskydd? Behov av riskanalyser, beredskapsplaner och -övningar?
- *För- och efterbehandling*: Kan något göras för att minska behovet av efterbehandling (framför allt av järn och mangan) vid inducerad infiltration? Fortsätter återinfiltration att vara den viktigaste efterbehandlingsmetoden vid

inducerad infiltration. Kommer trenden med ett ökat antal anläggningar med kontaktfiltrering som för- och efterbehandling (med eller utan fällning) i Småland med omnejd att sprida sig till andra delar av landet. Ska infiltrationsvattnet vara näringsrikt eller näringsfattigt för att få bästa reningsresultat? Lönar det sig att sätta till näringsämnen före infiltration för att uppnå hög mikrobiell aktivitet i filterbäddarna snarare än att minska halterna genom förbehandling?

- *Miljökonsekvenser:* Vilka system är mest miljövänliga beträffande kemikalie- och energiförbrukning, transportarbete och resurshushållning? Är infiltrationssystem uthålliga? Hotar igensättningar och urlakning av jordlager anläggningarnas långsiktiga funktion?
- *Hälsoaspekter:* Kan infiltrationssystem vara hälsovådliga? Kan algbloomningar med giftalger (algtoxiner) utgöra allvarliga hot för människor och djur?
- *Kretslopp.* Återvinning av sand och sandtvätt - blir det standard eller påverkas behandlingseffekterna negativt av tvättförfarandet?
- *Konsumentfrågor:* Konsumentinflytande - kommer konsumenterna i framtiden att medverka i planering, projektering samt drift- och underhåll av infiltrationsanläggningar? Kommer konsumentkrav eller myndighetskrav att styra utvecklingen?
- *EG-direktiv:* Vad innebär de nya EG-direktiven inom vattenområdet? På kontinenten med starkt förorenade ytvatten betraktas infiltration snarast som en medveten och oacceptabel förorening av grundvattnet (inte som en förstärkning av grundvattenbildningen) - kan därför infiltration komma att förbjudas genom framtida EG-direktiv?
- *Drift och underhåll:* Hur kommer driften av infiltrationsanläggningen ske i framtiden? Vilka konsekvenser får den snabba datoriseringen av driften vid infiltrationsanläggningar? Behövs manuell tillsyn eller kommer anläggningarna huvudsakligen styras från datorskärmar? Kommer nya metoder för rensning av infiltrationsbassänger att utvecklas?

## Forskning och framtid

Trots att en hel del forskning och utveckling genomförts inom teknikområdet "konstgjord grundvattenbildning" återstår ännu många oklarheter och olösta frågor. Dagens forskning inom konstgjord grundvattenbildning behandlar huvudsakligen:

- processer och behandlingsresultat vid infiltration, t ex avskiljning av organiskt material, mikrobiell nedbrytning samt minskning av järn- och manganhalter.
- spårämnesförsök för att bestämma strömningsförlopp och uppehållstider mellan infiltrationsplatser och uttagsbrunnar.
- igensättningar i filterbäddar och underliggande naturliga jordlager.
- specialutformning av filterbäddar för olika specifika behandlingsresultat, t ex avskiljning av organiskt material, alkalisering och hårdhetsökning, denitrifikation m m. Kan naturliga jordlager utnyttjas i filterbäddar, t ex podsolljordarnas humus- och rostjordlager?

- vattenkvalitet och toxicitet, t ex förekomst av algtoxiner och parasiter.

En snabb utveckling sker för närvarande inom drift och underhåll. Nya patent tas på teknisk utrustning, t ex rensningutrustning av infiltrationsbassänger. Mest märkbara är förändringar inom drift och underhåll som genomförs med hjälp av datorer och ny IT-teknik.

I nästa avsnitt beskrivs kortfattat utvecklingen av konstgjord grundvattenbildning sedan metoden introducerades i Sverige i slutet på 1800-talet. Hur kommer tekniken konstgjord grundvattenbildning att utvecklas under 2000-talet? Inget kan sägas med säkerhet men mycket tyder på att tekniken kommer att ha stor betydelse inom svensk dricksvattenförsörjning en lång tid framöver.

## Historik

Följande citat är hämtat ur ett föredrag av professor J Gust Richert, 1901 under rubriken "Om grundvattenbildning på konstgjord väg":

Se lästips

- " Från äldsta tider har den klara och svalkande källan föredragits framför sjöns eller flodens fadda vatten. Ännu för några årtionden sedan visste man ej hvad en källa egentligen var, utan trodde att den tillhörde en mystisk underjordisk "åder", som av en ren nyck behagat stiga upp i dagen, och den som lyckats få vatten i en gräfd brunn hade af en märkvärdig slump träffat på just en sådan "åder".

Så länge det endast gällde att anskaffa de minimala vattenkvantiteter, hvilka kräfdes för de gångna seklers blygsamma hygieniska behof, var det i allmänhet ej svårt att få reda på tillräckligt gifvande underjordiska "ådror". Även i ganska stora städer hade hvarje husägare på sin gård en brunn och i dess omedelbara närhet den lika nyttiga och oumbärliga latringropen. Mellan dessa båda ägde en liflig förbindelse rum, hvars resultat karakteriserades av Liebig's bekanta yttrande att "stadsbrunnarnas urin ofta var starkt utspädd av grundvatten". Slutligen blev detta tillstånd outhärdligt, och den alltmer upplysta folkopinionen började fordra städernas förseende med obemittadt och njutbart vatten.

I första hand sökte man naturligtvis tillgodogöra sådana källor, hvilkas vatten med självtryck kunde ledas till städerna och där utdelas från allmänna vattenkastare. En sådan, delvis ombyggd, källvattenledning existerar sedan öfver 100 år i Göteborg, där Kallebäckskällans utmärkta vatten utdelas genom ett särskildt system av rör och vattenkastare. Och där man ej hade tillgång på naturliga källor, uppsöktes underjordiska "ådror".

I kvalitativt afseende voro ofta dessa gamla vattenledningar alldeles förträffliga. Men då man längre fram även ville hafva vattnet inledt i hus och fabriker, räckte källorna ej längre till, och åtskilliga på måfå utförda brunnsanläggningar misslyckades till den grad, att man ej längre ville höra talas om grundvattens användande för större städer.

Nu inträdde en reaktion till förmån för de hittills föraktade sjö- och flodvattnen, hvilkas kvantitativa företräden fingo öfverskyla deras kvalitativa brister. Stora och dyrbara verk anlades för rening och upp-

Se bild 1.2

*fording af sådana vatten. Först nöjde man sig med att rena vattnet genom fällning, men snart nog befanns, att denna process måste kompletteras med filtrering genom sand. Då konstgjorda filterbassänger voro mycket dyra både i anläggning och drift, användes om möjligt den s k naturliga filtreringen som är baserad på följande princip.*

*Längs stranden af en flod, hvars bädd består af sand, nedlägges ett samlingsgalleri med öppen botten, eller en samlingsledning med eller utan brunnar.*

*Vid pumpning från galleriet sänktes dess vattenstånd under flodens yta, och denna nivåskillnad framkallar tillströmning af flodvatten genom sandbottnen, vilken tjänstgör såsom ett naturligt filter, hvarvid det på sandytan afsatta slammet enligt beräkningarna ska bortföras af strömmen".*

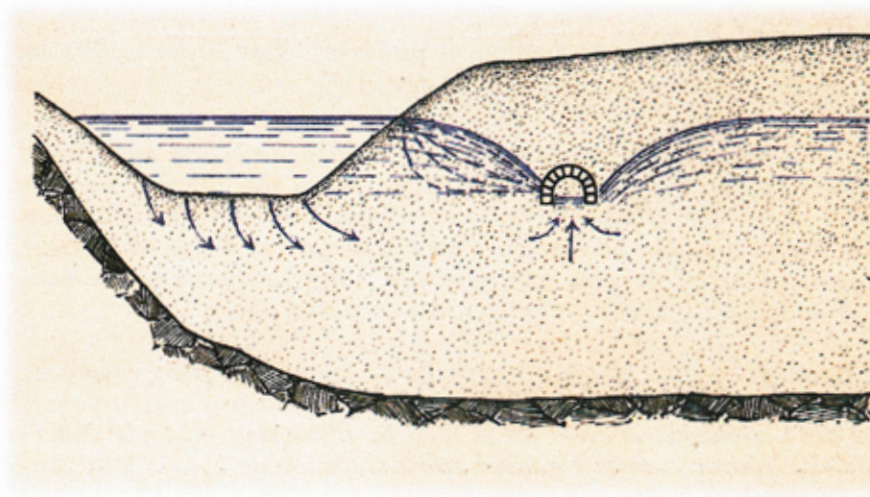


Bild 1.2 Samlingsgalleri vid bädden av en flod (Richert, 1901).

Se bild 1.1

Dessa gallerier var de första anläggningarna i modern tid för konstgjord grundvattenbildning. Anläggningstypen kallas idag för *inducerad infiltration*.

En anläggning i Glasgow i Skottland anses vara den första anläggningen med konstgjord grundvattenbildning i Europa. Den anlades år 1810 på en ö i floden Clyde och bestod av infiltrationsgallerier.

Nästa stad som försörjdes med konstgjort grundvatten var Toulouse i Frankrike. Bassänger grävdes ut i sand och grus längs floden Garonne och vattnet som pumpades ur bassängerna antogs vara infiltrerat från floden. Vattenkvaliteten var till en början god men alg tillväxt i bassängerna gjorde att vattnet efter en tid blev obrukbart som dricksvatten. Anläggningen byggdes om med infiltrationsgallerier av tegel som fylldes med sand och grus. Efter denna modifikation var anläggningen i drift bortåt 100 år. Infiltrationsgallerier byggdes sedan ut längs floder på ett flertal orter i England, Frankrike, Tyskland, Italien och Ungern.

Infiltrationstekniken introducerades i Sverige i slutet av 1800-talet av professor J Gust Richert, grundare av Vattenbyggnadsbyrån (VBB), se bild 1.3. Richert lanserade en anläggningstyp som är speciellt lämpad för svenska förhållanden, *bassänginfiltration*, även kallad "konstgjord infiltration". Vattnet från en sjö eller vattendrag pumpas upp och infiltreras i en sand- och grusformation (t ex grusås) och pumpas därefter upp ur brunnar ett stycke från infiltrationsplatsen, se bild 1.1.

År 1898 togs Sveriges första infiltrationsanläggning i drift vid Alelyckan för Göteborgs vattenförsörjning. Bild 1.4 visar en plan och bild 1.5 en genomskärning av anläggningen.



Foto: Anna Hellberg

Bild 1.3. Professor J Gust Richert (1919).

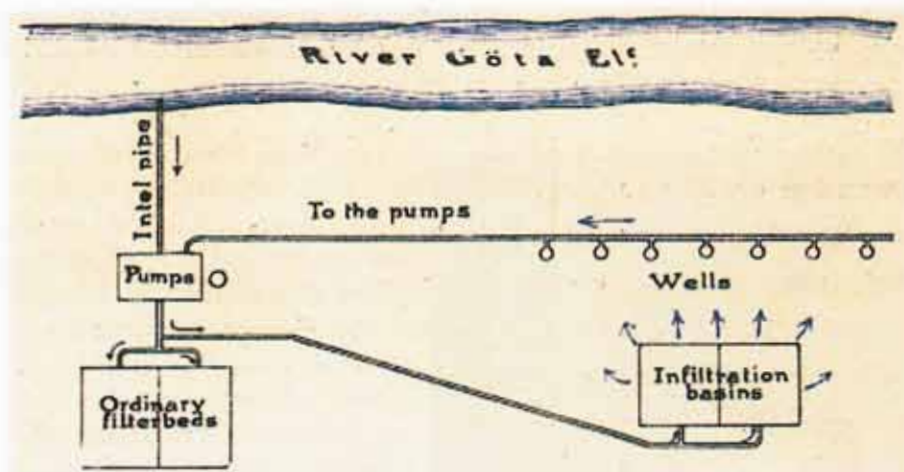


Bild 1.4 Planteckning över Göteborgs nya vattenverk (Richert, 1900).

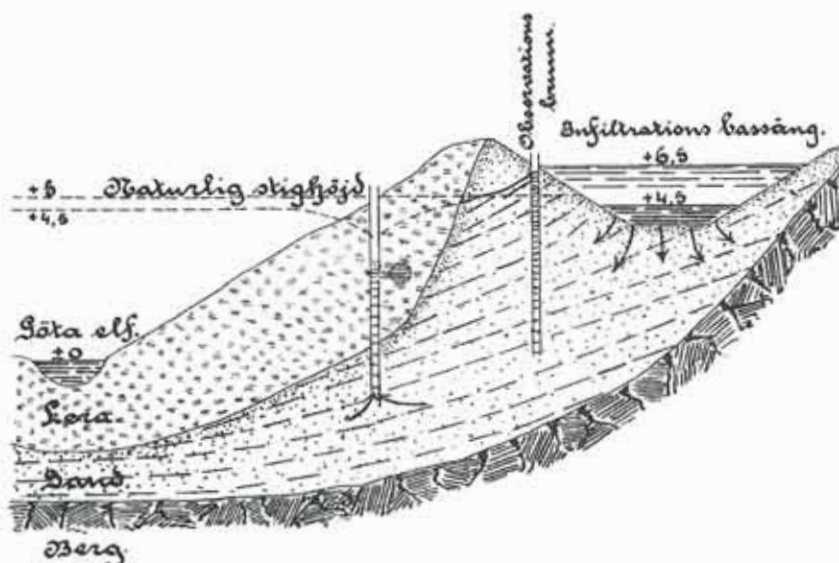


Bild 1.5 Göteborgs nya vattenverk i genomskärning (Richert, 1901).

För att åter citera professor J Gust Richert (1901):

*" I en öfver leran uppstigande sandtäkt, där den fria grundvattenytan stod i nivå med den artesiska stighöjden vid elfstranden, 5 meter öfver Göta elfs nivå inleddes vatten kontinuerligt under flera månader, och på grund af de därvid gynnsamma resultaten utarbetades ett förslag till till den permanenta "grundvattenfabrikation" som varit i verksamhet sedan hösten 1898"*

Fram till år 1910 hade Richert projekterat omkring 25 kommunala grundvattenverk, men endast ett par av dessa anordnades även för bassänginfiltration. Ett av dessa vattenverk var Sala, där en mindre infiltrationsanläggning togs i drift 1903.

Vattenbehovet i början på seklet var inte större än att den naturliga grundvattenbildningen genom infiltration av nederbördsvatten var tillräcklig. Det var först senare när moderniseringen av bostäder och industrin tagit fart som vattenbehoven krävde förstärkning av grundvattentillgångarna på konstgjord väg. Richert som var långt före sin tid på många områden fick därför aldrig uppleva den stora utbyggnaden av infiltrationsanläggningar som framför allt ägde rum under 1930- och 40-talen, baserat på de idéer som han utvecklat kring sekelskiftet.



Foto: E.-G. Wingqvist

Bild 1.6 Civ ing Victor Jansa, VBB, 1940.

Civ ing Victor Jansa och hans kollegor vid VBB fortsatte det arbete som Richert startat och deltog i projektering och utbyggnad av ett stort antal infiltrationsanläggningar. På ett symposium i Paris 1952 presenterade Jansa erfarenheterna från tretton tidiga svenska anläggningar: Göteborg, Örebro, Helsingborg, Luleå, Katrineholm, Eksjö, Karlskoga, Kristinehamn, Södertälje, Malmö, Landskrona, Eskilstuna och Västerås.

För Malmöregionens vattenförsörjning byggdes 1948 en infiltrationsanläggning vid Vombsjön (Vombverket) som sedan har byggts ut i etapper och som idag är Sveriges största med en produktion av 1500 l/s vid normaldrift, se bild 1.7.



Foto: Arkivbild Sydsvatten AB

**Bild 1.7** Flygfotografi över Vombverket för Malmö/Lundregionen, som omfattar 52 infiltrationsbassänger på en yta av 40 hektar.

Utbyggnaden av infiltrationsanläggningar har successivt fortsatt även om utbyggnadstakten mattats genom den allmänna överutbyggnad av svenska vattenförsörjningsanläggningar som skedde pga prognosmissar under 1960-talet beträffande framtida vattenförbrukning.

Nya infiltrationsanläggningar har bl a tillkommit i de småländska skogsområdena, där infiltration ofta sker i små sand- och grusformationer med inte sällan besvärlig råvattenkvalitet (humusvatten). Vid dessa anläggningar sker ofta en mer omfattande för- och efterbehandling av vattnet i jämförelse med infiltrationsanläggningar i de stora grusåsarna i Mälardalen och Värmland samt längs Norrlandskusten.

Även för Stockholms del fanns nyligen ett intresse för konstgjort grundvatten. Anledningen var att man eftersträfvade en ytterligare förbättring (framför allt avseende organiskt material) av den redan idag goda vattenkvaliteten och en minskad kemikalieförbrukning i vattenreningsprocessen.

Tanken på konstgjord infiltration för Stockholm var dock inte ny. Redan vid sekelskiftet presenterade professor J Gust Richert ett förslag för Stockholms vattenförsörjning som inledningsvis skulle baseras på naturligt grundvatten i området kring Bornsjön. Vid ökat vattenbehov skulle grundvattnet förstärkas genom infiltration av Bornsjöns vatten i intilliggande grusås och på sikt förstärkas genom infiltration från Mälaren. Enligt detta förslag skulle Mälärvattnet infiltreras dels nära Bornsjön dels på Ekerö. Det konstgjorda grundvattnet skulle sedan pumpas upp ur brunnar i området kring det nuvarande vattenverket i Norsborg. En principskiss från år 1900 redovisas på bild 1.8. Istället för Richerts förslag med konstgjord grundvattenbildning byggdes ett konventionellt ytvattenverk ut i etapper vid Norsborg med Mälaren som råvattentäkt. Vattenbehandlingen utgörs idag av kemisk flockning, sedimentering, snabbfiltrering och långsamfiltrering. Bornsjön utgör idag reservvattentäkt för Stockholm.

Se lästips

Se lästips

Se lästips för referenser till dessa tre grundläggande arbeten.

Olika utredningar har genomförts för att klarlägga möjligheterna att utnyttja konstgjort grundvatten för Storstockholms framtida vattenförsörjning. Den första etappen visade att det skulle kunna vara möjligt att basera vattenförsörjningen på infiltration av Mälärvatten i grusåsarna på Mäläröarna och/eller Södertörn. Arbetet fortsatte därför med en strategisk miljökonsekvensbeskrivning samt olika försök för att öka kunskaperna om de fysikalisk-kemiska och mikrobiologiska processerna vid konstgjord grundvattenbildning, bl a ett kolonnförsök vid vattenverket i Norsborg samt försöksinfiltration vid Skytteholm på Ekerö under forskningsmässiga betingelser. Resultaten av försöken redovisas i VA-FORSK Rapport nr 1999-18. Försöken gav dock inte de behandlingsresultat som förväntats, speciellt var avskiljningen av organiskt material inte tillfredsställande, varför intresset nu koncentreras på andra förbättringsåtgärder för Storstockholms vattenförsörjning, se artikel i VAV-Nytt 5/99 med titeln "Stockholm satsar inte på konstgjord infiltration i fullskala".

I början på 1990-talet började VA-FORSK engagera sig i forskning och utveckling av konstgjord grundvattenbildning. Cristina Frycklund vid KTH gjorde en nulägesbeskrivning av tekniken internationellt och i Sverige. Bertil Sundlöf och Lars Kronquist vid VBB VIAK gjorde en sammanställning av erfarenheter från tjugo kommunala anläggningar. En grupp från VBB VIAK och KTH presenterade resultat från processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration.



Bild 1.8 Förslag från sekelskiftet för Stockholms vattenförsörjning baserat på infiltration vid Bornsjön och på Ekerö (Richert, 1900).

## Användningsområden

Konstgjord grundvattenbildning används huvudsakligen för dricksvattenförsörjning men det förekommer även andra användningsområden, t ex:

- grundvattenvärme
- temperaturutjämning för kylvatten
- grundvattennivåkontroll
- hydraulisk spärr

## Användning för dricksvattenförsörjning

Vid konstgjord grundvattenbildning för dricksvattenändamål uppnås normalt alla de effekter som nämns nedan. I vissa anläggningar finns det dock ett uttalat huvudskäl till infiltrationen. I princip kan infiltration användas på tre olika sätt:

- förstärkning av den naturliga grundvattenbildningen
- ytvattenbehandling
- vattenbehandling genom blandning av yt- och grundvatten

### Förstärkning av den naturliga grundvattenbildningen

Förstärkning av den naturliga grundvattenbildningen är det primära användningsområdet. Det var otillräcklig kapacitet vid många kommunala vattentäkter som födde idén hos professor J Gust Richert vid sekelskiftet att förstärka grundvattnets nybildning genom infiltration av ytvatten.

### Ytvattenbehandling

Som ett alternativ till konventionell ytvattenbehandling kan ett ytvatten behandlas genom infiltration i marklagren. Vid infiltrationen sker förändringar i vattenkvaliteten, bl a upptar ytvattnet salter från marklagren (vilket leder till ökad hårdhet), vissa oönskade ämnen fastläggs och bryts ner (t ex organiskt material) och andra ämnen fälls ut i marklagren (t ex järn- och manganföreningar). Marken är dessutom ett effektivt medium för att minska halterna av bakterier och virus i ytvattnet.

## Vattenbehandling genom blandning av yt- och grundvatten

Genom att ett ytvatten och ett grundvatten normalt har olika kemisk sammansättning kan man genom inblandning av ytvatten i grundvattnet ändra dess kemiska sammansättning på ett kontrollerbart sätt. Ytvattnet är som regel saltfattigare än grundvattnet. Om t ex grundvattnet är hårt (hög halt kalcium/magnesium) kan man genom infiltration av ett mjukt ytvatten erhålla ett medelhårt vatten. På liknande sätt kan även andra ämnen minskas, t ex nitrat, järn, mangan och fluorid.

## Övriga användningsområden

### Grundvattenvärme

Genom att infiltrera ett varmt ytvatten sommartid kan man höja temperaturen i grundvattenmagasinet. Eftersom även sand- och gruskornen i jordlagren värms upp utbildas ett värmelager som kan utnyttjas kommande vintersäsong. När vintern kommer har visserligen temperaturen i grundvattnet sjunkit men den kan fortfarande vara betydligt högre än den naturliga grundvattentemperaturen i området. Den förhöjda grundvattentemperaturen kan utnyttjas för utvinning av grundvattenvärme med hjälp av värmepump.

Ett grundvattenvärmesystem har utförts vid Brygga, Ekerö kommun, se bild 1.9.

Foto: Göran Hansson



*Bild 1.9. Grundvattenvärmesystem vid Brygga, Ekerö kommun. Varmt Mälärvatten har infiltrerats sommartid på bassängen i förgrunden för att höja grundvattentemperaturen. Uttag av grundvattenvärme görs med hjälp av värmepump. I bakgrunden ses brunnsöverbyggnaden (tältliknande) vid Mälarens strand, t h Ekebyhovs reningsverk.*

Efter flera års drift inträffade (1992) ett oförklarligt och bestående inläckage av Mälärvatten, vilket ledde till alltför låg grundvattentemperatur vintertid. För att motverka inläckaget infiltrerades varmt Mälärvatten sommartid. Åtgärden ledde till att ett betydande värmelager bildades med förhöjd grundvattentemperatur långt

in på vintersäsongen. På grund av inläckaget och ett stort grundvattenuttag (ca 60 l/s) fick inte åtgärden avsedd effekt. Försök gjordes för att spåra läckaget bl a med färgspårämnen och geotekniska undersökningar. En trolig läckagepunkt observerades ett stycke utanför stranden och bottenpartiet tätades med bl a bentonit. Trots dessa åtgärder kvarstod ett betydande inläckage av Mälarsvatten, se bild 1.10 och 1.11.



Bild 1.10. Spårämnesförsök med färgämne (kaliumpermanganat) för att lokalisera ett inläckage av ytvatten till ett grundvattenmagasin vid Brygga, Ekerö kommun.



Foto: Göran Hansson

Bild 1.11. Sticksondering för att klarlägga om ett tätande botten-skikt av lera eroderats bort och underliggande sand- och grus-avlagring frilagts så att ytvatten läckt till grundvattenmagasinet under sjöns botten (Brygga, Ekerö kommun).

Tekniken att infiltrera varmt vatten på bassänger sommartid för att nyttja den lagrade värmen vintertid genom uttag med värmepump, borde kunna vara ett intressant alternativ på andra ställen i Sverige med mer normala grundvattenförhållanden än de som råder vid Brygga på Ekerö.

Se kap 7, avsnittet om forsknings- och utvecklingsbehov

## Temperaturutjämning för kylvatten

I grundvattenmagasinen utjämnas temperaturen i infiltrationsvattnet så att den vid anläggningar med mycket lång uppehållstid sammanfaller med den för området naturliga grundvattentemperaturen. Om uppehållstiden mellan infiltrations- och uttagsplats vid bassänginfiltration är kort (<14 dagar) kan problem uppstå med vattnets lukt och smak samt bakterietillväxt genom förhöjd temperatur sommartid. Enligt Dricksvattenkungörelsen är riktvärdet 12°C och gränsvärdet (tjänligt med anmärkning) 20°C. Inducerad infiltration ger ofta upphov till korta uppehållstider speciellt om uttagsbrunnarna anlagts nära råvattentäkten, se bild 4.2.

**Grundvattentemperaturer:**  
8°C i Skåne,  
6-7°C i Mellansverige  
2-5°C i Norrland.

SLV FS 1993:35

Bild 1.12 visar bassänginfiltration vid en anläggning för produktion av kylvatten till ett industriområde i Strängnäs.

I kapitel 3 och 4 diskuteras mer i detalj förändringarna i temperaturer vid bassänginfiltration och inducerad infiltration.



Foto: Göran Hansson

*Bild 1.12. Bassänginfiltration vid Gorsingeholm, Strängnäs för produktion av industriellt kylvatten.*

## Grundvattennivåkontroll

Vid sjunkande grundvattennivåer, speciellt i slutna grundvattenmagasin, t ex sand- och grusavlagringar under finsediment (lera), kan det ske sättningar i finsedimenten som i sin tur ger upphov till skador på fastigheter och annan infrastruktur. Vid några kommunala infiltrationsanläggningar har kontroll av grundvattennivån varit en av huvudanledningarna till varför infiltrationen påbörjades (förutom den ökade grundvattenbildningen), bl a i Nyköping och Umeå. I Söderköping sker än idag infiltration för att upprätthålla grundvattennivån. Kommunen har tidigare behövt betala dryga skadestånd för sättningsskador på fastigheter. I Söderköping infiltrerade man tidigare kemiskt behandlat åvatten (Hällån) på brunnar (djupinfiltration). Idag sker infiltrationen i bassänger.

## Hydraulisk spärr

Konstgjord grundvattenbildning kan även användas för att blockera tillflöden av icke önskvärt vatten av dålig beskaffenhet eller vid akut förorening av grundvatten. Ett problem som ibland uppträder speciellt längs kusterna är saltvatteninträngning eller uppträngning av relik salt grundvatten vid pumpning. Ett exempel på denna problematik var en provinfiltration vid Hemlunda för Piteås vattenförsörjning. Genom



Foto: Göran Hansson

bassänginfiltration kunde uppträngningen av salt grundvatten åtminstone delvis blockeras genom att det infiltrerade söta vattnet flöt som en "bubbla" ovanpå det tyngre salta grundvattnet. Försöksområdet visade sig dock ha andra begränsningar (kapacitet, järnhalt, skyddsaspekter), varför det inte är troligt att anläggningen kommer att permanentas, se bild 1.13.

*Bild 1.13. Försöksinfiltration vid Hemlunda, Piteå. På bilden ses Robert Jönsson, grundvattenkonsult.*

## Lästips

*Adolpsson, Marcus och Petré, Dag*, 1996. Grundvattendammar - en lösning på grundvattenfrågan. Examensarbete, avd för mark- och vattenresurser, KTH.

*Blomberg, Johanna* (redaktör), 1999. Konstgjord grundvattenbildning - avskiljning av organiskt material i den omättade zonen. VA-FORSK Rapport nr 1999-18.

*Blomberg, Johanna; Johansson, Per-Olof och Ericsson, Per*, 1999. Stockholm satsar inte på konstgjord infiltration i fullskala. Artikel i VAV-Nytt 5/99.

*Frycklund, Cristina*, 1992. Artificial Groundwater Recharge - State of the Art. VA-FORSK Rapport nr 1992-04.

*Frycklund, Cristina; Jacks, Gunnar; Johansson, Per-Olof och Lekander, Kerstin*, 1994. Konstgjord grundvattenbildning - Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration. VA-FORSK Rapport nr 1994-08.

*Hanson, Göran och Nilsson, Åke*, 1986. Groundwater-dams for rural-water supplies in developing countries. Ground water Vol. 24, No. 4.

*Jansa, Victor*, 1952. Artificial replenishment of groundwater. Paris

*Jansa, Victor*, 1978. Rapport angående undersökningar av grundvattenbildning genom konstgjord infiltration. VBB.

*Olofsson, Bo och Palmgren, Susanna*, 1994. Djupinfiltration för grundvattennivåkontroll. SveBeFo Rapport 13.

*Richert, J Gust*, 1900. On artificial recharge of groundwater. C. E. Fritzes Bokförlags Aktiebolag.

*Richert, J Gust*, 1901. Föredrag: Om grundvattenbildning på konstgjord väg, Isaac Marcus Boktryckeri - Aktiebolag.

*Stockholm Vatten, Norrvatten, VBB Viak, J & W och KTH*, 1996. Storstockholms framtida vattenförsörjning. Undersökning av möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning, Etapp 1.

*Stockholm Vatten, Norrvatten, VBB Viak, J & W och KTH*, 1997. Storstockholms framtida vattenförsörjning. Undersökning av möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning, Etapp 2. Strategisk miljökonsekvensbeskrivning.

*Sundlöf, Bertil och Kronqvist, Lars*, 1992. Konstgjord grundvattenbildning - nulägesbeskrivning av tjugo svenska anläggningar. VA-FORSK Rapport nr 1992-13.



## Kapitel 2

### Reningsprocesser vid infiltration



Ill: Karin Blombergsson

## Reningsprocesser vid naturlig infiltration

Grundvatten bildas på naturlig väg genom infiltration av nederbördsvatten (regn och snö) och genom infiltration från sjöar och vattendrag. Infiltrationen från nederbörd uppgår i Sverige i medeltal till ca 1 mm/ dag och som mest till ca 20 mm/dag. Sommartid sker praktiskt taget ingen infiltration av nederbörden då den i stället avdunstar och konsumeras av växtligheten.

### Marken - naturens eget reningsverk

Marken utgör ett sinnrikt medium som är väl lämpat för att ta hand om olika typer av naturligt förekommande ämnen och yttre föroreningar samt för att ombilda ytvatten till grundvatten.

En typisk svensk skogsmark (podsolmark) består av förna, humuslager, blekjord och rostjord över de opåverkade marklagren (C-horisonten). På bild 2.1 visas vattenkvalitetens förändringar vid passagen genom marklagren.

Det översta lagren i markprofilen utgörs av förna samt humuslagret som till största delen består av förmultnade växtdelar. Vid förmultningen förbrukas syre och det bildas bl a humussyror och kolsyra. Mineralämnena som erfordras av växtligheten tas upp genom rotsystemen. När växterna dör och förmultnar återförs dessa ämnen till humuslagret.

Humussyrorna och kolsyran påverkar mineralpartiklarna i blekjordslagret under humuslagret. På så vis urlakas blekjordslagret genom vittringprocesser, se reaktionsformler nedan. Vid vittringen upptages sura joner (vätejoner) från vattnet och samtidigt avges joner från markmineral, bl a kalcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K). Genom dessa vittrings- och jonbytesprocesser ökar infiltrationsvattnets pH-värde, alkalinitet (vätekarbonathalt) och hårdhet (kalcium- och magnesiumhalt).

Infiltrationsvattnets förhöjda pH-värde gör det möjligt för järn, aluminium och humusämnen att fastläggas. Lagret under blekjordslagret rödfärgas av järnoxid och järnhydroxid och kallas rostjordslagret.

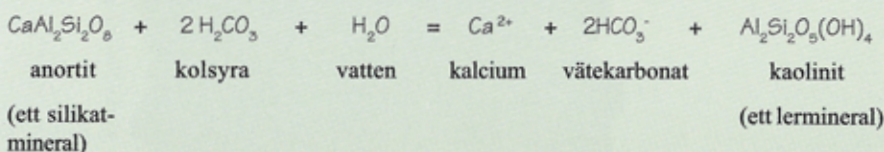
Under rostjordslagret är lagren i mindre utsträckning påverkade av markprocesserna (C-horisonten).

Förna = i huvudsak oförändrade döda växter och djur samt avfallsprodukter ur växt- och djurlivet

Humus = delvis nedbrutet organiskt material i marken

Se lästips: Grundvattnets kemi i Sverige.

### Exempel på kemisk vittring i urbergsområden



Kemisk vittring innebär en sönderdelning av mineral, varvid ofta s k sekundära lermineral bildas.

## Förändringar i vattenkvalitet

Fotosyntes: Växterna tar upp koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) ur luften (kolsyreassimilation).

Nedbrytning av organiskt material. Syre förbrukas under bildning av kolsyra. Det organiska materialet förekommer i molekylär form som  $\text{RCOOH}$  och avskiljs genom sin hydrofoba adsorption på sandkornen.

Vattnet är surt, pH 4-5.

R=radikal

Humussyror och kolsyra löser ut mineraler (kemisk vittring). Vattnets pH-värde, hårdhet och alkalinitet ökar. Det organiska materialet joniserar till  $\text{RCOO}^-$  (anjoner).

I detta lager förekommer positivt laddade järn- och aluminium(hydr)oxider. Det negativt laddade organiska materialet avskiljs genom elektrostatisk adsorption och utflockning.

Utflockning sker med flervärda järn- och aluminiumföreningar, samma process som används vid rening med kemisk flockning i vattenverk.

Vattnet klarnar vid passagen av rostjordslagret pga avskiljningen av organiskt material.

Vattnets pH, alkalinitet och hårdhet ökar genom jonbytesprocesser.

Ytterligare avskiljning av organiskt material.

Det infiltrerade nederbördsvattnet antar mer och mer grundvattenkaraktär, d v s pH, alkalinitet och hårdhet ökar, och halten organiskt material minskar ytterligare. Bakterier och virus avdödas helt. Temperaturen utjämnas. Järn- och manganhalterna kan dock öka vid syrebrist.

## Marklager

Vegetationszon

Förna

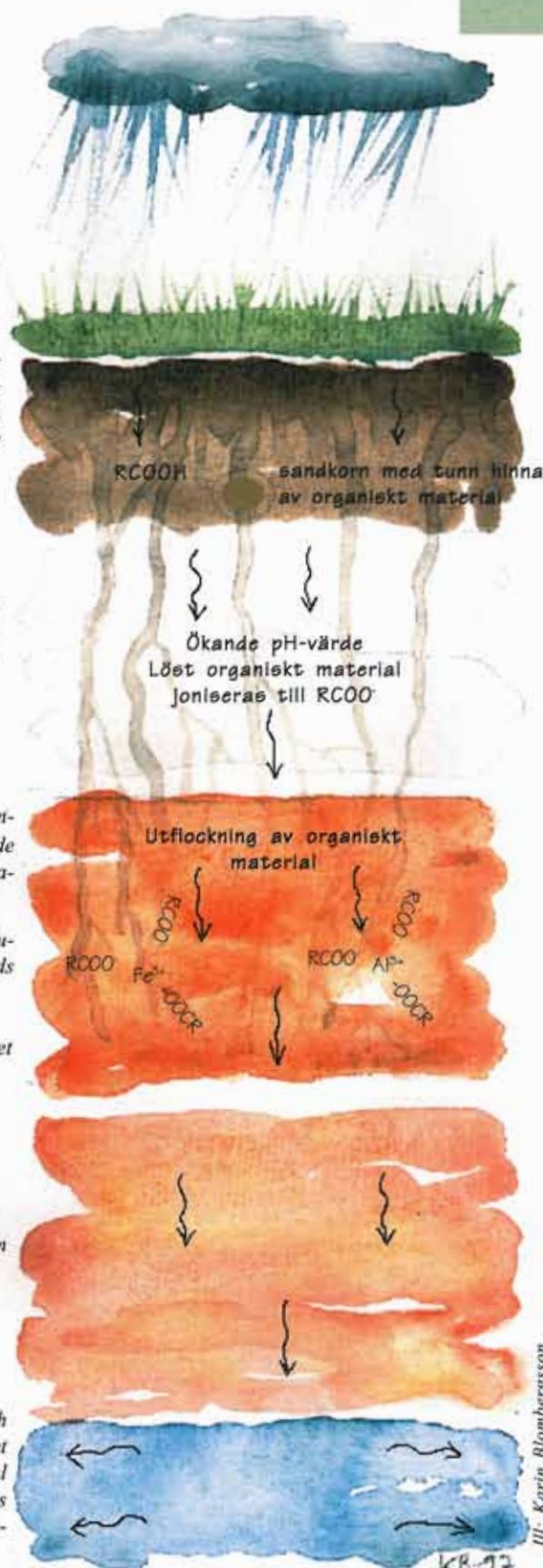
Humuslager

Blekjordslager

Rostjordslager

C - horisont

Grundvattenzon



Ill: Karin Blombergsson

KB-97

Bild 2.1 Schematisk profil av en svensk skogsmark (podsoltyp) och vattnets naturliga reningsprocesser.

Buffringsförmåga=  
Motståndskraft mot pH-  
ändringar

Markens förmåga att ta hand om stora mängder surt vatten som hela tiden tillförs kan dock efter en tid minska och till slut helt upphöra. Marken har då mist sin buffringsförmåga som då måste återställas. Markprofiler som innehåller förhöjd kalkhalt, t ex jordar i Skåne och på Öland och Gotland har en hög buffringsförmåga mot försurning medan kalkfattiga jordar, t ex på Västkusten har låg buffringsförmåga.

## Reningsprocesser vid bassänginfiltration

### Infiltrationsmängder

Vid konstgjord grundvattenbildning är infiltrationen av vatten i en helt annan storleksordning än vid naturlig grundvattenbildning. Vanligen uppgår infiltrationsmängderna (den hydrauliska belastningen på infiltrationsbassängerna) till 1 000 - 3 000 mm/dag (1-3 m per dag) vilket är tusenfalt större än den naturliga infiltrationen. Dessa mycket stora infiltrationsmängder utgör på lång sikt en potentiell risk för markens förmåga att omforma ytvatten till grundvatten, på samma sätt som den sura nederbörden påverkar de naturliga jordlagrens buffringsförmåga.

### Från ytvatten till grundvatten

Vid bassänginfiltration ombildas ytvatten till grundvatten genom att oönskade ämnen och föroreningar som finns i ytvattnet avlägsnas i speciella filterbäddar och genom naturliga reningsprocesser i underliggande jordlager och grundvattenmagasin, se bild 2.2.

Ytvatten som tillförs vid konstgjord infiltration innehåller ofta en viss mängd organiskt material som härrör från bl a växt- och djurplankton. Detta material är som regel mer lätnedbrytbart än humusämnena i den naturliga skogsmarken. Det organiska materialet är en blandning mellan det som tillförts från omgivande marker (alloktont) och det som produceras i ytvattnet (autoktont). Blandningen mellan dessa olika ursprung för det organiska materialet varierar över tiden och mellan olika vatten. Vid nedbrytningen av det organiska materialet bildas koldioxid och infiltrationsvattnet blir därför surt efter passagen av biozonen, se bild 2.2.

Huvuddelen av vattenkvalitetsförändringarna sker alldeles i början av infiltrationsprocessen, i bassängernas sk filterhud (biohud) som utbildas efter en tids drift, se bild 2.3. Här sker bl a avskiljning av järn och mangan (mangan brukar även avskiljas en bit ner i filterbädden). Bakterie- och virushalterna minskar påtagligt. Vidare sker partiell nedbrytning av organiskt material på liknande sätt som i humuslagret i naturmarken, se bild 2.1.

Förutom löst organiskt material avskiljs även partikulärt organiskt material. Vid låga vattenhalter i en markprofil infiltrerar vattnet genom jordarnas fina porsystem, där möjligheterna är goda för såväl adsorption av humusämnen som filtrering av partikulärt organiskt material.

Vattnet förändras ytterligare vid passagen i den omättade zonen genom olika markprocesser, bl a jonbyte. Därvid byts vätejoner i infiltrationsvattnet ut och vattnet tillförs andra positiva joner som löses ut ur lättvittrade mineraler innehållande bl a kalcium och magnesium, vilka bägge bidrar till vattnets hårdhet. På så vis neutra-

Biozon =  
Filterhuden plus de  
översta mikrobiellt hög-  
aktiva decimetrarna av  
filterbädden

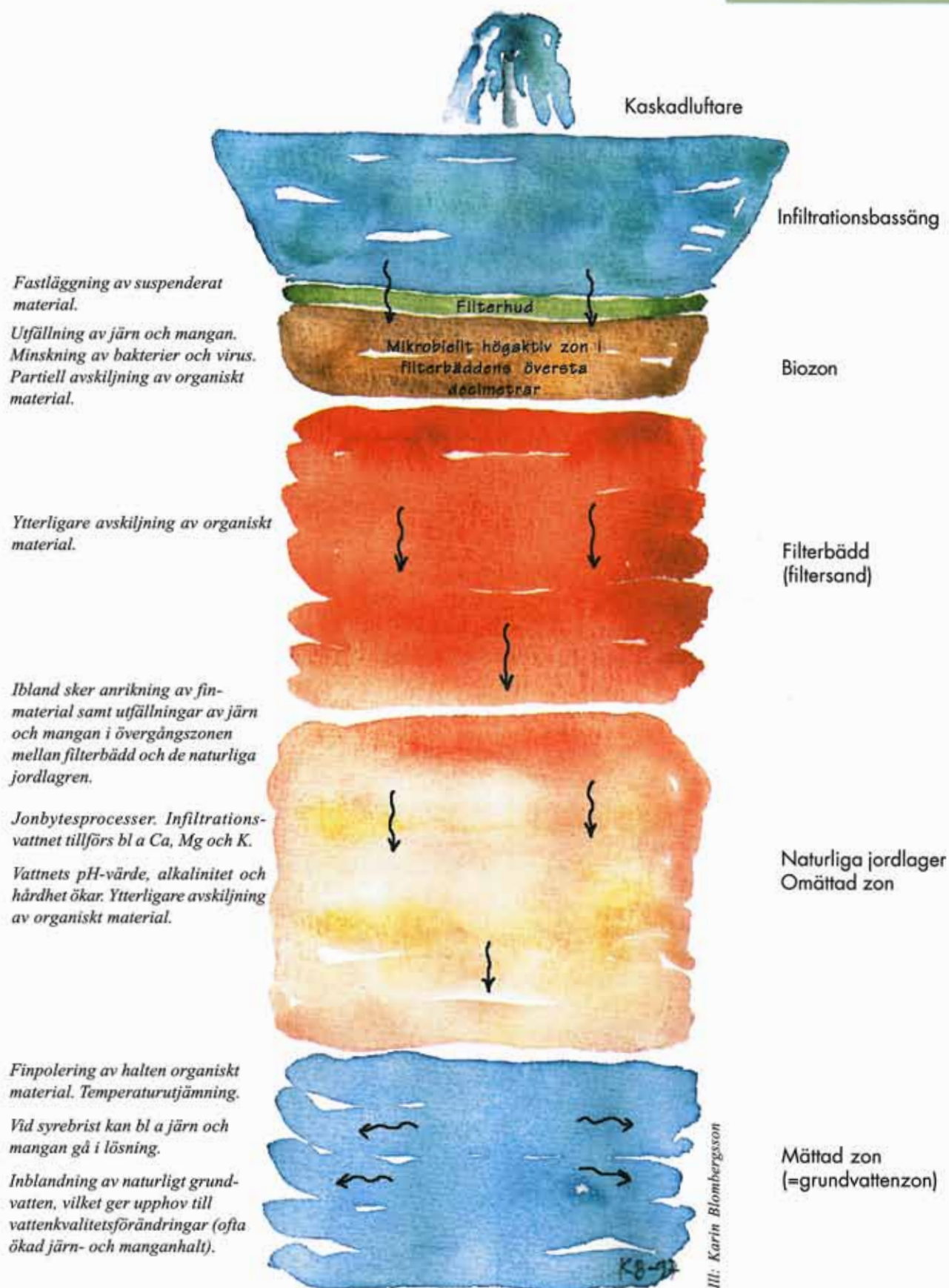


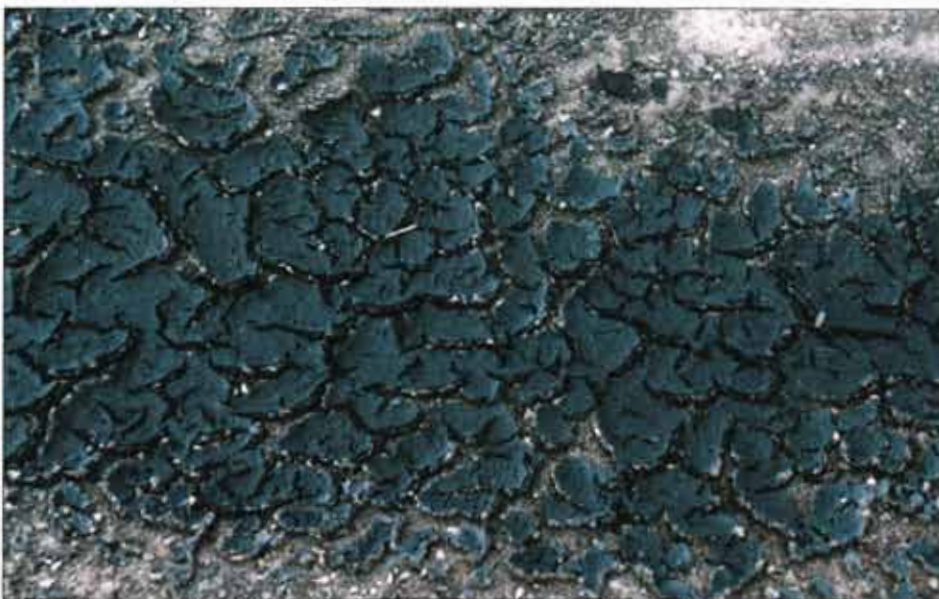
Bild 2.2 Reningsprocesser vid bassänginfiltration

liseras (buffras) infiltrationsvattnet, varvid pH-värdet och alkaliniteten (vätekarbonathalten,  $\text{HCO}_3^-$ ) ökar.

I grundvattenzonen sker den slutliga omvandlingen från yt- till grundvatten. Kvarvarande organiskt material avskiljs ytterligare och temperaturen utjämnas. Om vattnets syre tar slut kan dock järn och mangan gå i lösning och halterna därmed öka.

I grundvattenzonen sker även stora förändringar genom att två vatten med olika beskaffenhet blandas. I vissa infiltrationsanläggningar är det inte förstärkningen av

Foto: Göran Hanson



*Bild 2.3 Filterhud (biohud) efter upptorkning på en infiltrationsbassäng vid Getasjökvärn, Emmaboda.*

grundvattenbildningen som är huvudskälet till att infiltrationsanläggningen byggts utan just den speciella vattenkvalitet som uppstår vid blandningen av yt- och grundvatten. Ett hårt grundvatten kan t ex genom blandning med ett mjukt ytvatten ge ett blandvatten med lämplig hårdhet.

Ett flertal egenskaper hos ytvattnet förändras vid infiltrationsprocessen:

- årstidsvariationerna i vattentemperaturen utjämnas om uppehållstiden är tillräckligt lång (normalt flera månader).
- grumlighet som t ex uppstår vid vårfloeden och kraftiga höstregn och vid algblooming reduceras.
- bakterie- och virushalterna avklingar.
- organiskt material (som kan ge vattnet dålig lukt och smak) minskar genom filttering, adsorption och mikrobiell aktivitet.
- järn- och manganhalter minskar genom utfällning. Halterna kan dock öka vid syrebrist i grundvattenzonen.
- pH, alkalinitet och hårdhet ökar genom vittrings- och jonbytesprocesser.

## Sämre reningsförmåga vid mättat flöde

Om infiltrationen sker med så stor kapacitet att mättat flöde uppstår, sker en väsentlig del av transporten i jordarnas grova porsystem. Vid denna typ av transport är kontakten mellan de lösta komponenterna och markpartiklarna sämre än vid omättat flöde, vilket försvårar adsorptionen. Dessutom är perkulationshastigheten

hög, vilket minskar den tillgängliga tiden för mikrobiell nedbrytning.

## Bevara den naturliga markprofilen

Genom att den naturliga markprofilen är en så effektiv reningsmekanism bör man vara noga med att försöka bevara dess struktur. En typ av anläggning, sprinklerinfiltration, baseras helt och hållet på en intakt naturlig markzon som "reningsverk". Metoden har praktiserats i Finland men ännu ej i Sverige, åtminstone inte vid någon större anläggning.

Se kap 4, avsnittet om sprinklerinfiltration

Även vid bassänginfiltration bör man bemöda sig om att inte i onödan schakta bort eller på annat sätt förstöra den naturliga markprofilen med dess renande markhorisonter, främst rostjordslagret.

Eftersom råvattnet ibland är starkt slamhaltigt (grumligt) föreligger risk för igensättningar i marklagren där detta finmaterial fastnar. Dessutom kan olika järn- och manganföreningar fällas ut i filterbädd och marklager som gulröda (järn) eller svarta (mangan) band av olika oxider och hydroxider, se bild 3.43.

Om igensättningar blir besvärliga och hindrar infiltrationsvattnet att perkolera ned till grundvattnet kan man behöva schakta för att avlägsna de igensatta lagren. Flera kommuner har av detta skäl tvingats djupgräva infiltrationsbassänger och ersätta igensatta lager med ny sand för att kunna hålla infiltrationsanläggningarna i drift.

Se kap 3, avsnittet om igensättningar

## Reningsprocesser vid inducerad infiltration

Reningsprocesserna skiljer sig markant mellan bassänginfiltration och inducerad infiltration. Orsaken till detta är att vattnet vid inducerad infiltration passerar strand- och bottensedimenten i sjön eller vattendraget och ofta även finsediment som överlagrar isälvsmaterial. Vid högvatten kan dock ytvattnet komma i direktkontakt med de grovkorninga åsmaterialet och då blir reningsprocesserna annorlunda.

Bild 2.4. visar en typisk lagerföljd vid inducerad infiltration. De kemiska omvandlingsprocesserna exemplifieras här med vattenkvalitetsutvecklingen på Långholmen för Kristinehamns vattenförsörjning enligt Gustafson (1982). Sjövattnet (Bergsjön) innehåller bl a syre, organiskt material och järn (troligtvis komplexbundet till humus). Vid vattnets passage genom de olika jordlagren sker följande förändringar:

Se lästips

- I *strand- och bottensedimenten* förbrukas en del av infiltrationsvattnets syre-innehåll vid nedbrytning av humusämnen under bildning av kolsyra. Järn passerar ej detta lager utan fälls ut som järnhydroxid.
- I *finsedimenten* fortsätter nedbrytningen av organiskt material så länge det finns tillgång på syre. Den bildade kolsyran löser ut kalcium från kalciumhaltiga mineral i sedimenten. Kombinationen kolsyraproduktion/syrefri miljö gör att mangan går i lösning. Allmänt gäller att mangan löses ut tidigare än järn i en syrefri (anaerob) miljö.

Se kap 3, avsnittet om avskiljning av organiskt material

- I grovsedimenten fortsätter processerna men i långsammare takt beroende på mindre kontaktyta mellan vattnet och mineralkornen och kortare uppehållstid.

Halten organiskt material (mätt som  $\text{KMnO}_4$ -förbrukning) minskade från  $> 25 \text{ mg/l}$  i Bergsjön till  $10\text{--}13 \text{ mg/l}$  i uttaget grundvatten, dvs ungefär en halvering.

Den anaeroba (syrefria) miljö som ofta föreligger vid inducerad infiltration, och därav orsakad utlösning av järn och mangan, gör att vattnet ofta måste efterbehandlas. Höga halter av dessa ämnen färgar vattnet och ger det en oangenäm smak samt tekniska problem framför allt utfällningar i ledningsnät, reservoarer och hos abonnenterna. Dessutom kan tvättgods missfärgas. En vanlig behandlingsmetod för att avlägsna järn och mangan är återinfiltration, som bl a praktiserats i Kristinehamn. Principen för återinfiltration och andra efterbehandlingsmetoder redovisas i kap 5. Inducerad infiltration beskrivs i kapitel 4, Övriga infiltrationsmetoder.

Se bild 5.8

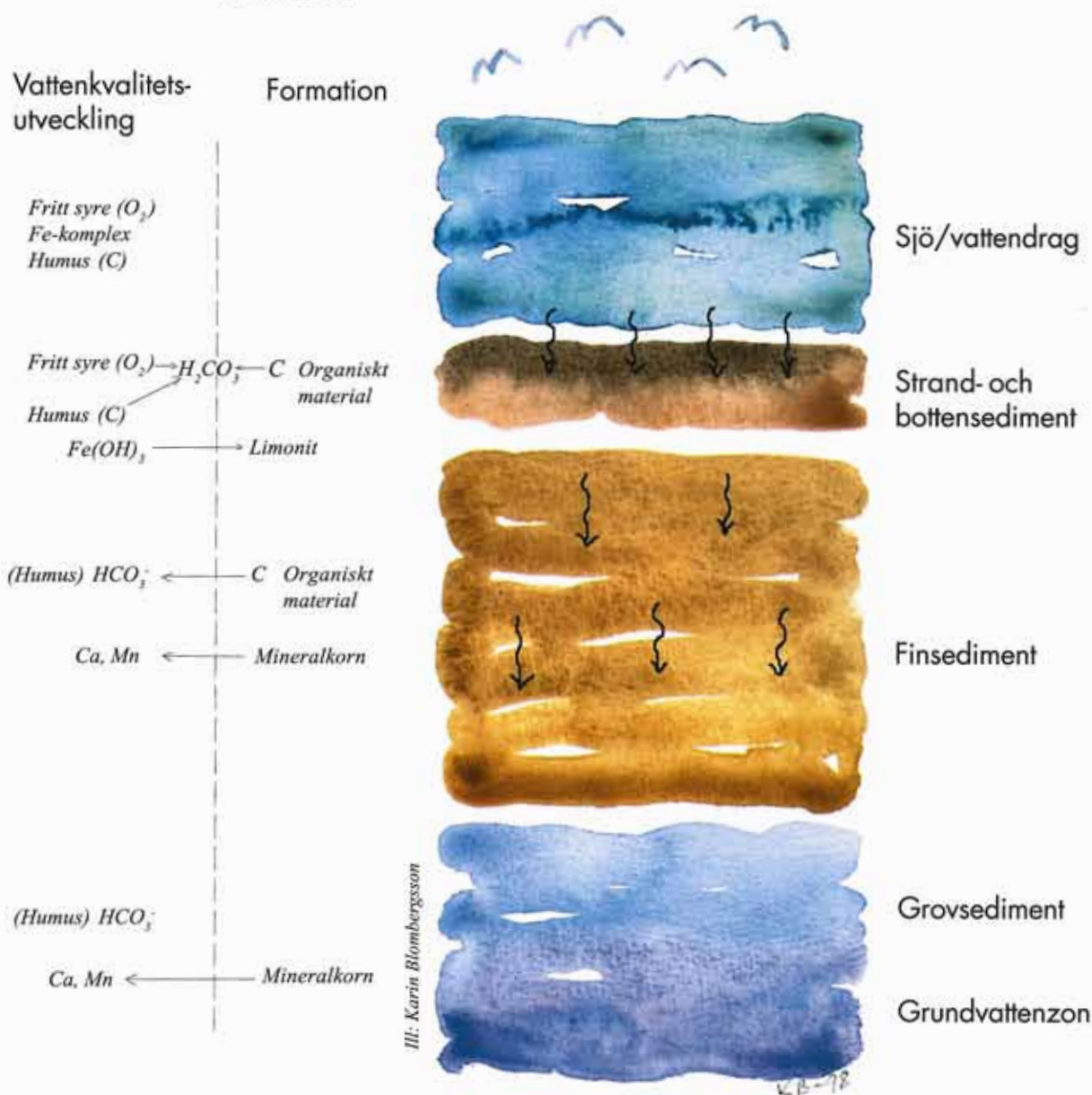


Bild 2.4 Kemiska processer vid inducerad infiltration på Långholmen, Kristinehamn (efter Gustafson 1982).

## Lästips

*Aastrup, Mats; Thunholm, Bo; Johnson, Jacob; Bertills, Ulla och Berntell, Anders, 1995. Grundvattnets kemi i Sverige, Naturvårdsverket och Sveriges Geologiska Undersökning. Naturvårdsverket Rapport 4415.*

*Frycklund, Cristina och Jacks, Gunnar, 1993. Konstgjord infiltration vid Emmaboda vattenverk. Tidskriften Vatten 49: 49-55.*

*Frycklund, Cristina, 1993. Den konstgjorda grundvattenbildningens kemi. Licentiatavhandling, Institutionen för mark- och vattenresurser, KTH. TRITA-KUT 93:1071.*

*Gustafson, Gunnar, 1982. Langholmen - Bank Recharge to an esker aquifer in Sweden. In Artificial Groundwater Recharge, Vol I, DVWK Bulletin 11. Verlag Paul Parey - Hamburg/Berlin.*

