

Problemer med slam i drikkevannet

Sivilingeniør Kari S. Ormerod

Siv.ing. Kari S. Ormerod er ansatt som forsker ved Norsk institutt for vannforskning. Hun er utdannet ved Norges Tekniske Høgskole, linje for teknisk biokjemi, i 1958.

Ordet «slam» i denne overskrift trenger en nærmere definisjon: Det er ment som betegnelse på alle slags partikler som er synlige med det blotte øye, enten partiklene synker til bunns eller holder seg flytende i vannet. I våre dager settes det store krav til kvaliteten av drikkevann, og folk reagerer sterkt hvis de finner slam i vannet. Krav til kvaliteten av vann fra offentlige vannforsyningsnett har forandret seg mye i de årene som er gått siden de første forsyningsnett ble bygget. Det første forsyningsnett i New York var for eksempel anlagt for drikkevann, men for vann til brannvern og til å spyle gatene rene, og det hadde derfor ingen betydning om vannet var rent eller ikke. Likeså var det første vannverk i Hamburg i 1845 bygget for å forsyne byen med vann til brannslukning; men det ble allerede i 1849 tatt i bruk som drikkevannsforsyning. Det var vanlig at folk fikk sitt drikkevann fra brønner, og noen av de første organiserte vannforsyninger til større befolkningsgrupper ble dannet ved at de forskjellige brønner ble satt i forbindelse med hverandre, og enkelte ganger i tillegg tilført overflatevann. I denne første tid for felles vannforsyning var det derfor rikelig anledning til at vannkvaliteten ble dårligere enn den hadde vært før, — både med hensyn til synlige partikler og til

hygiene. På det tidspunkt visste man ikke at vann kunne være spreder av sykdommer som kolera og tyfus. Det var hollenderen *Antonie van Leeuwenhoek* som med sine spesiallagete linser var den første til å observere organismer på størrelse med protozoer og bakterier, og han fant disse til stede også i drikkevann. Dette var i siste halvdel av det 17. århundre; men det var først 200 år senere man fikk kjennskap til at bakterier kunne være årsaken til smittsomme sykdommer.

De første kjente observasjoner av levende vesener i drikkevann skriver seg imidlertid fra det fjerde århundre før Kristi fødsel. Det er *Aristoteles* som beskriver slam på vannoverflaten i urene brønner på denne måten: «Først er det hvitaktig — så blir det svart, siden blodrødt. Noen røde fargeflekker er bevegelige, og i vannskorpen henger det små byggverk som det senere pleier å komme insekter med vinger ut av.» I våre dager kan man tyde dette som en hvitaktig hinne av ssvovelbakterier (*Beggiatoa*), siden utfelt (svart) jernsulfid, og til slutt f. eks. jernbakterier med utfelt jernoksyd, og bevegelige røde mygg-larver. Insektene kom ut av pupper som hang i vannets overflatehinne.

På 1200-tallet omtaltes for første gang de såkalte brønn-trådmarker (*Haplotaxis*

gordioides), av *Albertus Magnus*. Tre århundrer senere berettet sveitseren *Konrad von Gesner* at ifølge folkeopinionen utviklet disse brønn-trådmarkene seg fra hestehår som falt ned i brønnene når hestene drakk vann der. I middelalderen trodde man også at den ikke så sjeldent forekommende rustrøde misfarging av vann som fikk stå i åpne beholdere, var et tegn på at vannet var forgiftet. I våre dager er det lett å forklare dette; men vi har fremdeles de samme problemer med rustdannelse fra enkelte drikkevannskilder.

På estetisk grunnlag ble slikt slamholdig vann fra gammel tid bedømt som uegnet til drikkevann for mennesker. Det var først i det nittende århundre at vannets innhold av forskjellige mikroorganismer ble satt i sammenheng med dets brukbarhet som drikkevann. De første personer nevnt i denne forbindelse, er franskmennene *Donné* og *Dupasquier*, i 1840. De fra rådet bruk av vann fra elvene Saône og Rhône til drikkevannsforsyning til Lyon på grunn av at vannet fra disse elvene inneholdt rikelige mengder «*animalcules infusoirs*» — infusjonsdyr — som mikroorganismer som protozoer, nematoder, bakterier etc. ble kalt. Dette ble imidlertid ikke generelt godtatt som grunnlag for ikke å bruke slikt vann til drikkevann, og så sent som i 1877 ble det skrevet (*v. Nægelii*) at tilstedeværelse av mikroorganismer i drikkevann kun hadde estetisk betydning.

Den moderne drikkevannsbiologi — slik vi kjenner den idag — begynte sin utvikling i 1850-årene, og de første grunnleggende publikasjoner om dette utkom omtrent samtidig i to forskjellige land, enda forfatterne ikke visste om hverandres

arbeid. Den mellom-europeiske litteratur stammet vesentlig fra professor *Ferdinand Cohn* ved universitetet i Breslau, og hans grunnleggende verk om vannforsyning ble publisert i 1853.

Den engelsk-språklige litteratur stammet vesentlig fra den engelske apoteker og algolog *Hassal*, og hans grunnleggende verk ble publisert i 1850. For begges vedkommende var det koleraepidemier som var årsaken til deres drikkevannsbiologiske undersøkelser. Begge forskere strebet etter en metode til å bestemme forureningsgraden av vann ved hjelp av dets innhold av forskjellige partikler, inkludert mikroorganismer. De prøvde bl. a. å finne frem til indikatororganismer for «rent» og «urent» vann, og det var Cohn som først bedømte mikroorganismer som *Sphaerotilus* og *Beggiatoa* som typiske indikatororganismer for urent, eller som vi nå sier, forurenset vann. Ut fra dette utviklet det seg forskjellige retninger av drikkevanns-vitenskaper: Den kjemiske — som også før dette hadde vært under utvikling — den biologiske og den rent hygieniske, som ble særlig viktig etterat *Robert Koch* i 1880-årene påviste at koleraepidemier kunne spres gjennom drikkevann infisert med bakterien *Vibrio comma*.

Den biologiske drikkevannsundersøkelse begrenset seg opprinnelig til å undersøke svevestoffer — eller slam — i vannet. Til å begynne med ble slammet samlet etter sedimentering i prøven; men senere ble det frafiltrert ved hjelp av papirfiltre, glassull og liknende. Senere ble gas-nett og flanell tatt i bruk, og rundt århundreskiftet ble planktonnett anbefalt til dette bruk i Tyskland av *von Blücher*. Planktonnett ble benyttet til slike undersøkelser

minst 5 år før her i Norge, da *Wille* og *Huitfeldt-Kaas* benyttet slike nett i 1895 i sin undersøkelse av Oslos vannforsyning fra Maridalsvannet. Biologiske undersøkelser av frafiltrerbart materiale fra vann har siden blitt utviklet i mange forskjellige retninger, blant annet til opprettelse av det såkalte saprobiske system for bedømmelse av forurensningsgraden av vassdrag. Slike undersøkelser har imidlertid også bidratt til å løse spesielle problemer med slam i drikkevann, og det er dette emne vi nå skal konsentrere oss om.

Den første opplysning om slam i ledningsvann har vi fra en «Spitalmeister» i Nürnberg i 1545 — der han uttaler at deres vann, som stammet fra en kilde, til sine tider inneholdt råttent, slimet vann, og han mente at det derfor måtte være farlig å drikke vannet. I 1876 ble det i Berlin tatt i bruk et vannverk (Berlin—Tegel) som skulle forsyne byen med vann fra grunnvannsbrønner (12 til 23 m dype). Etter bare et halvt års drift begynte vannet i ledningene å anta en rustbrun farge, og dette ble verre og verre, og fargen gikk snart over til tydelige slampartikler. Problemet gjorde seg ikke så sterkt gjeldende i selve vannverket, men nådde store dimensjoner i enkelte av lagringsbassengene. I et slikt basseng på 35 000 m³ var utviklingen så rask at hele bassenget snart ble fylt av slammasser. Man måtte ukentlig fjerne 140 m³ våtslam fra disse bassengene, og til slutt, etter bare 7 års bruk, ble grunnvannsbrønnene oppgitt som råvannskilde, og i 1883 gikk man over til å filtrere vann fra innsjøen Tegeleser See. En rekke vitenskapsmenn var på det tidspunkt klar over at mikroorganismer kunne spille en rolle i dannelsen av brunt slam i vann, og trådformede bak-

terier av genusnavn *Crenothrix* var hyppig observert i forbindelse med slikt slam. Det var også beskrevet en annen trådformet bakterietype, *Lepothrix*, og en tredje type bakterie som var vesentlig forskjellig fra de andre, *Gallionella*. Disse bakterier ble med et fellesnavn kalt «jernbakterier», og de nevnte slamproblemer i drikkevannsledninger ble kalt «jernbakterie-kalamiteter» i litteraturen fra 1850-årene og oppover.

I 1882 ble slike *Crenothrix*-kalamiteter rapportert fra vannforsyningen til Lille i Frankrike. De fikk vann fra tre kilder, og i forbindelse med regnskylt ble vannet ofte så rust-slamførende at det ikke engang kunne benyttes til drikkevann for hester!

I Dresden hadde de også store problemer med rustfarget drikkevann, og årsaken til slamdannelsen ble i 1906 (av *Schorler*) vist å være av bakteriell natur. Beverley Hills i California tok i 1928 sitt vann fra 300—400 fot dype brønner, og de fikk også store problemer med slamførende vann. Dette grunnvann inneholdt H₂S og metan, foruten CO₂, og måtte derfor luftes. Først utviklet det seg store mengder rustslam på grunn av utvikling av jernbakterier (*Crenothrix*), men senere fikk de også slam med innhold av svovelbakterien *Thiothrix*. At årsaken til at man fikk dannet slikt slam, hadde forbindelse med forekomst av jern, var lett å forstå, og at slammet inneholdt bakterier kunne man forvisse seg om ved å mikroskopere det. Til å begynne med trodde man at jernet kom fra jernledningene; men man hadde også forekomst av rustslam i ledninger av annet materiale. *Schorler* viste at rustdannelsen i ledningsnett i Dresden ikke kom fra korrosjon av ledningene. De 10 cm vide rør hadde vært

i bruk i 30 år, og det var dannet et 3 cm tykt rustbelegg på rørenes indre flater. Schorler viste at asfaltbelegget på innsiden av jernrøret var intakt, og at rustlaget utenfor dette derfor måtte ha blitt dannet av jern i vannet. Vannet inneholdt 0,3—0,4 mg jern pr. liter, og den dominerende jernbakterie ble av Schorler funnet å være *Gallionella*. Vannet inneholdt lite organisk stoff. I Prag var man også plaget med slamførende ledningsvann, men der dominerte organismene *Leptothrix* og *Crenothrix*. Dette vannet inneholdt en del humusstoffer, fordi infiltrasjon fra elven Moldau ble brukt som tillegg til grunnvannsforsyningen. Fra Kiev i Russland rapporterte *Cholodny* slamproblemer med vann fra artesiske brønner. *Kolkwitz* (Berlin—Dahlem) mente at det var en sammenheng mellom type dominerende organismer i slikt slam og vannets innhold av organisk stoff. *Gallionella* forekom der vannet inneholdt meget lite organisk stoff; i vann med større innhold av organisk stoff ville *Leptothrix*s bli dominerende; og med vesentlige mengder organisk stoff fikk man dominans av *Crenothrix*. I Berlins vannverk viste det seg etter nærmere undersøkelse at slammet var dominert av *Leptothrix*, og vannet hadde et kaliumpermanganattall på 17. (Kaliumpermanganattallet, mg KMnO_4 /l er betegnende for vannets innhold av lett nedbrytbart organisk stoff). I en annen by med slamførende drikkevann var vannets permanganattall 5—7, og i dette slam dominerte *Gallionella*.

Hvilken type jernbakterie som skulle komme til å dominere i slammet, så altså ut til å ha forbindelse med vannets innhold av organisk stoff; men årsaken til at det ble dannet rust-slam, hadde tydelig forbindelse med vannets innhold av jern.

Vann fra grunnvannsbrønner inneholder ofte løst toverdig jern, og dette var som oftest hovedårsaken til jernbakterie-kalamitetene, fordi disse bakterier oksyderer toverdig jern. I Berlin tok de med hell sin opprinnelige grunnvannsforsyning i bruk igjen i 1905 etter at det først var installert et anlegg for fjerning av jern i vannet.

De fleste av disse bakterier er imidlertid også i stand til å oksydere løst toverdig mangan, og slammet får da en brunsvart farge av utfelt MnO_2 (brunstein). Det er derfor ofte også nødvendig å fjerne mangan. I dag er det i flere land utarbeidet retningslinjer for vann som skal benyttes til drikkevannsforsyning. I svenske retningslinjer utgitt av Statens Naturvårdsverk 1969, er det angitt følgende øvre grense for vann som skal benyttes uten noen form for behandling, bortsett fra desinfeksjon:

Permanganattall 20, 0,2 mg Fe/l og 0,05 mg Mn/l.

Også andre typer bakterier enn de foran nevnte er i stand til å danne slam i vannledninger. De nevnte jernbakterier kan kalles spesialister på området, fordi de normalt vokser fastsittende på objekter som står i strømmende vann. De klarer seg godt i vann med lite næring fordi den mengde næring som passerer dem *pr. døgn*, godt kan være stor selv om konsentrasjonen i vannet er liten. I vann med større mengder næring overtar gjerne de vanlige typer bakterier, og i vannledningsrør kan vi finne slike voksende i tette slimlag. De er ofte også assosiert med manganoksyd, slik at slammet er brunsvart. Slike bakterier omgir seg med en slimaktig gel som binder dem til hverandre og til rørvæggen. Noen slike bakterier bryter ned organiske forbindelser som inne-

holder jern (f. eks. humusstoffer), slik at jernet felles ut som rust og oppfanges i slimet. Dette kan lett demonstreres i laboratoriet ved å dyrke slike mikroorganismer på ferric-ammonium-citrat agar. Slik slimvekst vil også kunne fange opp eventuelt partikulært manganoksyd i vannet, og tilstedeværelse av MnO_2 i slammet vil katalysere en videre oksydasjon og utfelling av oppløst mangan. Ved større forandringer av strømforholdene i rørene rives slikt slam lett løs og føres med vannet. Det kan da synke til bunns i eventuelle bassenger eller ledningspartier med liten strømningshastighet, og når dette slamteppet går i forråtnelse, kan det føre til at vannet får vond lukt og smak. Der slammet ikke fanges opp som foran nevnt, vil det nå frem til forbrukerne som «brunt vann». Små mengder slam i vannet fører ofte til at husmødrene begynner å klage over at de får klesvasken ødelagt. Dette skjer i forbindelse med enkelte typer moderne vaskemaskiner, der klærne under skylleprosessen virker som filter for vannet. Klærne får rustfargete eller mørkebrune flekker av henholdsvis jern- og manganoksyd, og det er meget vanskelig å få fjernet disse flekkene fra tøyet. Slam blir ofte lett synlig når vannet tappes i badekar eller i vanlige drikkeglass, og i de verste tilfeller kan vannet være synlig brunt når det tappes fra kranen.

Selv små mengder slam kan skape store problemer for industrien. *Molisch* beskrev et slikt tilfelle fra Prag i 1910, der en kjent papirfabrikk ikke lenger kunne produsere helt hvite papirsorter fordi det slamførende vannet ga papiret en tydelig gulbrun tone. Et eksempel fra våre dager er gitt av *John E. Kearns*, fra Richmond i Indiana, USA. Der hadde det vært

spredte tilfeller med klager på brunt vann i forbindelse med unormalt store vannforbruk, (brannslukning, spyling av gater, rørbrudd etc.), men ellers hadde vannet vært fint i de 50 år vannverket hadde vært i drift. Omkring 1955 begynte et meieri å klage over at dets produkter ble ødelagt ved misfarging, spesielt gjaldt dette produksjonen av «cottage cheese». Meieriet mente at misfargingen måtte komme fra vannet, men vannverkets folk avviste dette, da vannets innhold av jern og mangan var svært lite. Etter å ha måttet kassere hele produksjonen flere ganger, fikk meieriet osten analysert, og beviste at misfargingen skyldtes mangan såvel som små mengder jern. Kearns var blitt konsultert og antok at problemet kunne være av mikrobiologisk natur; men dette ble møtt med skepsis fra vannverkets side. De undersøkte imidlertid samlebrønnen på pumpestasjonen og fant slim på veggene, og dessuten fibrøst materiale som så ut til å ha kommet inn i vannet gjennom sprekker i brønnens vegger. De fant ut at dette fibrøse materialet var trerøtter, og satte i gang med å hugge ned alle trærne i parkområdet der brønnen lå. I mellomtiden hadde Kearns arbeidet videre med problemet og funnet at infiltrasjonsgalleriene var tett begrodd med slim dominert av jernbakterien *Crenothrix*, som også oksyderer mangan, og det lyktes ham å få stoppet nedhuggingen av trærne i parken. Problemet ble her løst ved å installere et annet filtersystem. Denne historien viser at det selv i et så utviklet land som USA kan være vanskelig å få benyttet vitenskapelige erfaringer til å løse praktiske problemer, selv om opplysningene bygger på observasjoner gjennom de siste 100 år i samme fagområde.

Vi behøver imidlertid ikke gå ut fra vårt eget land for å finne eksempler på problemer med slamførende vann. Ved NIVA får vi ofte slike henvendelser. Det kan være folk som om sommeren kommer med brunt vann fra sine hytter eller landsteder og spør om det er farlig å drikke det; det kan være produsenter av mineralvann som får sine produkter ødelagt; industrier som er avhengige av partikkel-fritt vann og som derfor har installert spesielle filtre, klager over at disse filtrene tettes igjen unormalt fort, og det kan være vannverk som engasjerer oss til å løse problemer med slamførende vann.

For å kunne være til hjelp med å løse slike problemer må vi ha et visst erfaringsgrunnlag, slik at vi vet hvordan vi best kan angripe problemet. Vi har derfor utarbeidet en viss prosedyre som her skal beskrives nærmere. Som oftest får vi inn prøver med synlig innhold av slam, og det første vi da gjør, er å mikroskopere slammet, samt å utføre fargetester for å se om slammet inneholder jern og mangan. Er slammet rustbrunt, er saken grei — det inneholder jern — men er det brunsvart, kan det inneholde både jern og mangan. Den brune fargen på mangandioksyd dekker over den lysere fargen på jernoksyd, og eventuelt jernsulfid er helt svart av farge. Vi tar ut tre prøver av slammet og tilsetter jernreagens (saltsyre og kaliumferrocyanid) til den ene, manganreagens (leucomalakittgrønt) til den andre, og mikroskoperer den tredje prøven. Saltsyren vil løse jernoksyd, og det treverdige jern danner en kompleksforbindelse med ferrocyanidionet. Forbindelsen er sterkt blåfarget, og hvis alle kaliumionene byttes ut med jern, får vi en tungt løselig forbindelse som felles ut. Den kalles berlinerblått.

Hvis prøven som ble tilsatt leucomalakittgrønt inneholder MnO_2 , vil det dannes et mørkt blågrønt fargestoff som diffunderer ut fra de brune partiklene. Metoden baserer seg på at leucoformen av fargestoffet malakittgrønt bare lar seg oksydere av sterke oksydasjonsmidler, som f. eks. kromat, permanganat og MnO_2 . Når det grønnlige fargestoffet dannes, går en del av det brune stoffet i oppløsning. Dette kan benyttes ved mikroskopering for å avgjøre i hvilken grad slammet består av organisk eller uorganisk materiale. Til samme formål kan man også benytte en løsning av 5 % oxalsyre i 1N saltsyre. Da kan man også lettere se eventuelle mikroorganismer i slammet, fordi den brune fargen som ofte dekker store deler av preparatet, forsvinner, slik at slammets struktur trer tydeligere frem. Denne avfarging kan utføres under mikroskopet. Vi lager først et preparat på vanlig måte. En dråpe reagens legges på den ene siden av dekkglasset og trekkes igjennom preparatet ved hjelp av et stykke papir på den andre siden. Man kan også utføre dette med testreagenset for jern slik at jernholdige materiale blir blåfarget. Selv etter avklaring med saltsyre kan det være vanskelig å avgjøre om de partikler vi ser er bakterier eller annet kornet materiale. Vi kan da utføre en farging av preparatet med erythrosin, som sies å være spesifikt for protoplasma. Man må her være oppmerksom på at hvis preparatet er for tykt, vil også annet biologisk materiale ta opp en del farge. Man må først fikserer preparatet ved å la det tørke inn og holde objektglasset et øyeblikk over en flamme. Så tilsettes noen dråper erythrosin, og etter ca. 1 minutts tid skylles det av med vann. Tilsettes preparatet også jernreagens, kan man få de jernholdige stoffer til å bli blå,

Fig. 1

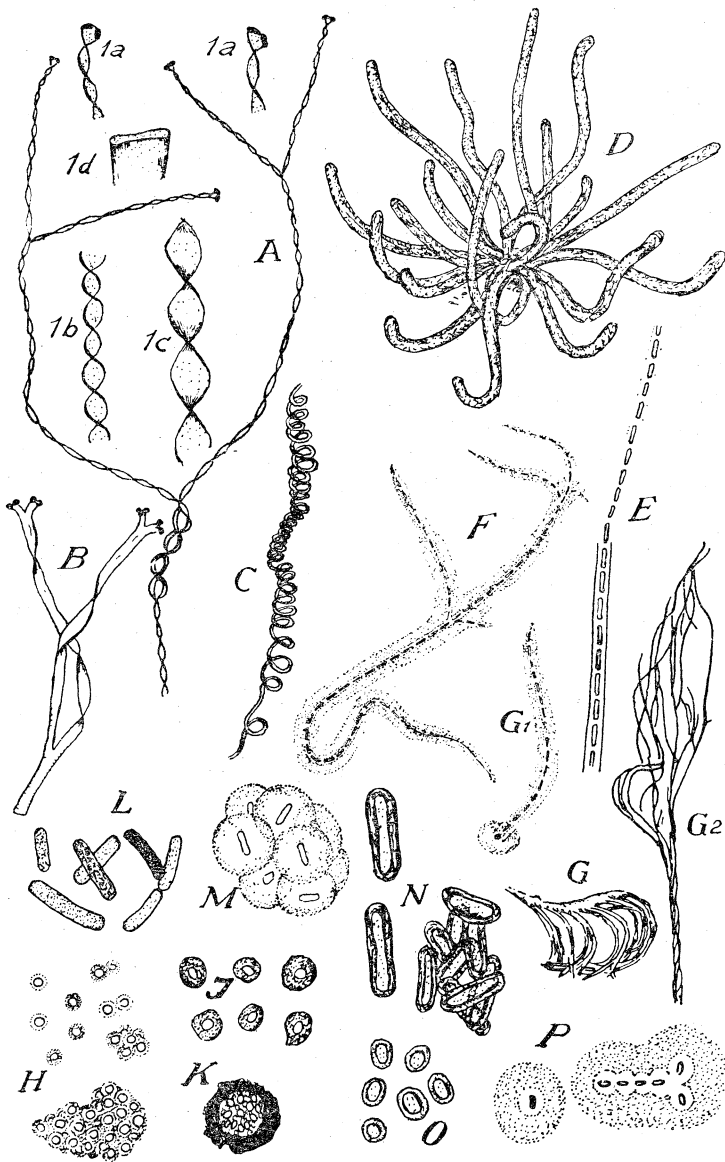


Abb. 45. Eisenbakterien-Typen. — A. *Gallionella ferruginea*. — B. *Gallionella minor*. — C. *Spirosoma*-Typus. — D. *Leptothrix lopholea*. — E. *Leptothrix ochracea*. — F, F₁ *Leptothrix discophora*. — G, G₁ *Leptothrix thrichogenes*. — H. *Siderocapsa botryoides*. — J. *Siderocapsa monoeca*. — K. *Siderocapsa Treubji*. — L. *Siderobacter latum*. — M. *Siderocystis vulgaris*. — N. *Naumanniella minor*. — O. *Naumanniella pygmaea*. — P. *Siderocystis minor*. A, nach Cholodny, G, nach Molisck, G₁, nach Pakk, P. nach Reukauf.

mens protoplasmata farges rødt.

Hvis det vann man skal undersøke, ikke inneholder synlige mengder slam, kan man samle eventuelle svevestoffer ved filtrering av vannet. Bruk av membranfiltere av samme type som dem som brukes til coliformanalyser er å anbefale, da de frafiltrerte partikler dermed kan mikroskoperes direkte. Filtrene tørkes og tilsettes mikroskopersolje som gjør filtrene gjennomskinnelige. Man kan også teste direkte på filtrene om partiklene inneholder mangan og jern: Etter filtrering av et passende volum vann legges membranfilteret over på et filteringspapir som er fuktet med en løsning av leucomalakittgrønt. Reagenset vil diffundere opp i membranfilteret og reagere med partikler som inneholder MnO_2 , slik at disse blir synlige som grønne flekker på filteret. Med saltsyre og kaliumferrocyanid vil man få blå flekker der man har jernoksyd. Membranfilteret kan klippes opp slik at man bare trenger ett filter til alle undersøkelser.

Etter å ha utført disse tre operasjoner vil vi sitte igjen med et inntrykk av om slammet er dominert av organisk eller uorganisk materiale. Ønsker vi å fastslå dette forhold kvantitativt, filtrerer vi prøven gjennom glassfiberfiltere og bestemmer tørrstoff og gløderest direkte på filtrene. Vi kan også gå videre med gløderesten og bestemme dens innhold av jern og mangan. Som oftest vil vi etter dette kunne danne oss et inntrykk av hvordan og hvorfor slammet er dannet. Et rustbrunt eller mørkebrunt slam som inneholder lite eller intet organisk materiale, må være dannet ved oksydasjon og utfelling av løst jern og mangan i vannet, eller ved korrosjon der surt vann står i forbindelse med ube-

skyttet jern. Er det vesentlige mengder organisk stoff, men ingen tydelig vekst av mikroorganismer i slammet, er det trolig partikler fra innkomstvannet som er sedimentert ut og antakelig danner et slamteppe på bunnen av enkelte ledningsstrekninger hvor vannets strømningshastighet normalt er lav. Inneholder slammet mikroorganismer som ser ut til å ha vokst der, vil de dominerende mikroorganismer være en indikasjon på slamdannelsens årsak. For å kunne benytte seg av denne erfaring må man vite hvordan de forskjellige indikatororganismer ser ut. Vi skal begynne med å se på organismer typisk for næringsfattig, men jernholdig vann, og starter med *Gallionella*, vist på figur 1. Den består av stavformede eller nyreformede bakterier som er festet til underlaget ved hjelp av tvunnede, tynne og meget lange tråder. Den opptrer ofte i jernavleiringer i bekker og dreneringsgrøfter, og dessuten der bart jern står i kontakt med surt vann. Vi har fått dem til å vokse ved å putte jernspiker ned på kolber med næringsfattig, humuspreget vann, Organismen ble oppdaget i 1834 av *Ehrenberg*, i jernavleiringer i grøfter nær Berlin. Det er imidlertid meget sjelden at man får se hodene, fordi disse lett rives løs fra trådene. Det er bare i helt ny vekst at man ser trådene slik de er illustrert på figuren. I gammel vekst er trådene omgitt av tykke lag av jernoksyd, og utseendet minner da om hardt tvunnet tau. I slam fra drikkevann er trådene gjerne brukket opp i fragmenter og viser seg som meget refraktile, tvunnede tråder under mikroskopet. Det er bare et par forskergrupper som hevder å ha *Gallionella* i renkultur, og den ene av gruppene mener at selve trådene er organismen og ikke bare noe som holder de såkalte «hodene» fastsittende på underla-

Fig. 2

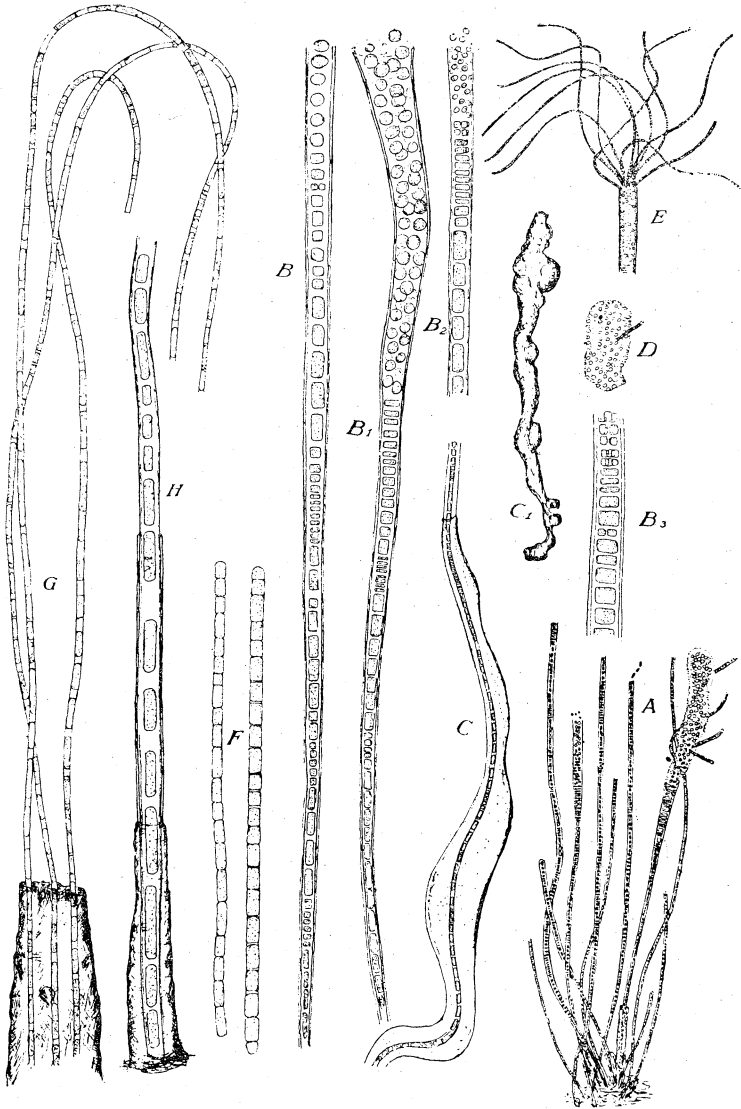


Abb. 41. *Crenothrix polyspora*. A. Rasen des Bakteriums. — B, B₂. Einzel-fäden: B₁ mit Macrogonidien, B₂ mit Microgonidien. — C₁. Vererzungstypus (C. vergleichsweise Vererzungstypus von *Leptothrix discophora*). — D. Sporenlager mit einem ausgekeimten Faden. — E. Keimfadenbüschel an einem Fadenende. — F. Junge ausgekeimte, noch nicht mit einer Scheide umhüllte Fäden. — G. Jugendstadien mit langen Zellen. — H. desgl. vergrößert. — Orig.

Etter Herbert Beger: *Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie*. 1952.

get. *Gallionella* antas å være kjemoautotrof — den benytter CO₂ som karbonkilde og oksydasjon av jern til energikilde, men dette er ennå ikke entydig bevist.

I 1843 beskrev *Kützing* en annen type organisme som han fant i jernavleiringer, og han gav den genusnavnet *Leptothrix*. Den liknet til en viss grad en annen organisme han i 1833 hadde funnet i forurensette bekker, og som han hadde kalt *Sphaerotilus natans*. Disse organismene bestod av lange kjeder stavformede bakterier som var omgitt av en hylse som igjen kunne være omgitt av en slimkapsel. For *Leptothrix*'s vedkommende inneholdt kapselen store mengder jernoksyd, slik at den i masseforekomst var rustbrun av farge, i motsetning til *Sphaerotilus natans* som var grå. Senere har det vist seg at også *Sphaerotilus* kan oppta jern i hylsen, og det er for tiden stor uenighet om hvorvidt navnet *Leptothrix* skal sløyfes og bare *Sphaerotilus* beholdes som genusnavn. Figur 1 viser også skisser av *Leptothrix ochracea* og *Leptothrix discophora (crassa)*. Forskjellen mellom disse er at *Leptothrix ochracea* har en tynn kapsel, og den oksyderer bare jern, mens *L. discophora* kan ha en meget tykk kapsel. Den oksyderer også mangan, og utfeller oksydene i kapselen. Skissen av *Leptothrix ochracea* viser bakterier som migrerer ut av kapselen. Dette er meget vanlig for *Leptothrix ochracea*. Hvis man tilsetter syre til et preparat av denne organisme for å fjerne jernoksydene i kapselen, finner man ofte at kapselen ikke lenger inneholder bakterier.

Figur 2 viser en annen type hylse- og jernbakterie, *Crenothrix polyspora*. Denne ble rapportert av Cohn i 1870, som fant

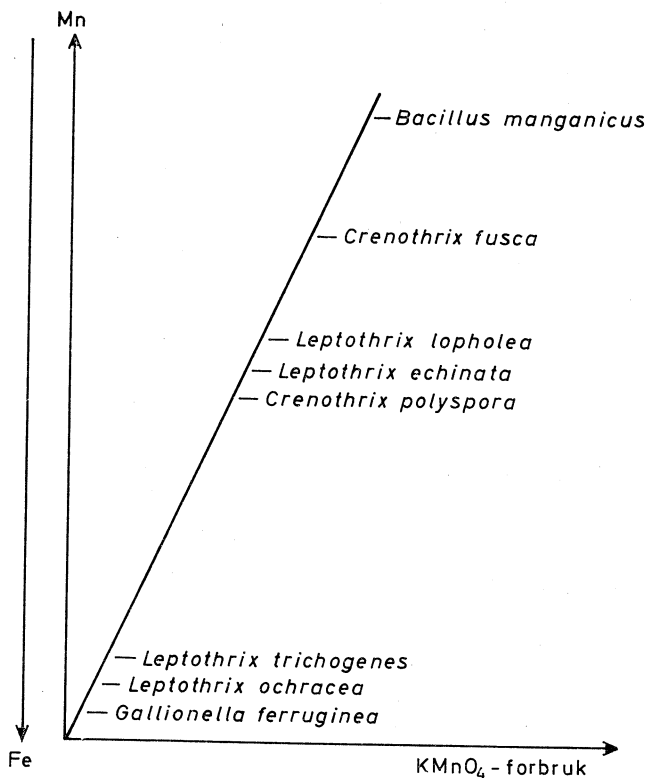
at den var svært utbredt i dype brønner i Tyskland.

Figur 3 viser *Crenothrix fusca*. Den ble opprinnelig beskrevet som en blågrønnalge av Roze i 1896, og gitt navnet *Clonothrix fusca*. Det ble senere funnet at denne organisme manglet pigment og derfor måtte beskrives som bakterie. Schorler beskrev den i 1904 uten å vite om Roze's beskrivelse, og han gav den også navnet *Clonothrix fusca*. Senere ble det påvist at denne organisme var den samme som den beskrevet av *Kirchner* i 1878 under navnet *Clonothrix putealis*. En stund ble den betraktet som identisk med *Crenothrix polyspora*; men de er siden blitt vist å være klart morfologisk forskjellige, da *Clonothrix* viser nyppig forgreining og aldri utvidelse med flere lag sporer ved siden av hverandre slik som hos *Crenothrix polyspora*. Om dette er stor nok forskjell til å inndele dem i forskjellig genus er en annen sak, og her følges *Begers* angivelse slik at teksten blir i overensstemmelse med figur 3. *Beger* mener at de tilhører samme genus, og kaller dem *Crenothrix polyspora* og *Crenothrix fusca*. *Crenothrix* skiller seg tydelig fra *Leptothrix* og den nær beslektede *Sphaerotilus* ved at de danner sporeliknende celler. Under forsøket på å «rydde opp» i taxonomen til disse hylsebakteriene mente *Wolfe* i USA at *Crenothrix* i det hele tatt ikke var blitt observert siden Cohn's oppdagelse av den 1870, og han foreslo derfor at dette genusnavn burde tas ut av bruk. For sikkerhets skyld etterlyste han i 1958 prøver av denne organismen, og fikk omgående tilsendt jernholdig slam som inneholdt *Crenothrix* fra filtrere ved vannverket i Malmø. *Wolfe* fikk også tilsendt slam fra det før nevnte vannverk i Richmond i Indiana, og fant at slammet

Fig. 3



Abb. 42. *Crenothrix fusca*. — A. Fadenbüschel auf einem Sporenlager. — B bis D. Fadenabschnitte. — E bis F₂. Gonidienbildung. — G. Habitusbild. — H. Teilstück eines Sporenlagers. — I. Skizze des Bakteriums nach Baylis. — A-H. Orig. Etter Herbert Beger: Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. 1952.



Figur 4. De forskjellige jernbakteriers jern — mangan — spektrum. Etter Beger 1952.

var dominert av *Crenothrix fusca*. Vi har observert denne organisme et par ganger i slam vi har funnet ute i naturen. En annen type jernbakterie som ikke er hylsebakterier, men som er vidt utbredt i humuspåvirkede innsjøer, er *Siderocapsa*, illustrert på figur 1. Vi har aldri funnet denne som dominerende organisme i drikkevannslam. Derimot har vi funnet dominans av en annen organisme som ikke før har vært beskrevet som årsak til slamdannelse — nemlig *Hyphomicrobium*.

Dette er en knoppkytende bakterie som danner et nettverk av protoplasmatråder og derfor lett fanger opp svævende partikler i vannet. Det viste seg at denne organismen var i stand til å oksydere jern- og manganforbindelser i vannet, og slammene viste stor anrikning på MnO_2 enda vannet inneholdt under 0,05 mg Mn/l. Årsaken til begroingen tyder i dette tilfelle på å ha sammenheng med den behandling råvannet gjennomgår i vannverkets renseanlegg. Råvannet er humuspre-

get, men ellers næringsfattig, og blir ozonert for å få fargen redusert fra ca. 40° Hazen til maksimalt 20° Hazen.

Vannet tilsettes dessuten kalk for å hindre korrosjon av jern- og kobberledninger. En undersøkelse viste at ozoneringen nedbrøt de relativt stabile humusstoffer til lettere nedbrytbare stoffer, noe som gav utslag i vesentlig høyere biokjemisk oksygenforbruk (BOF), og også høyere kaliumpermanganattall for vannet etter ozonering. Det var altså vannets innhold av lett nedbrytbart organisk stoff som var hovedårsaken til begroingen; men minst en av de dominerende organismer viste seg også å kunne oksydere jern og mangan. Det finnes som før nevnt også andre bakterier som kan danne brun slimvekst i ledninger med vann som inneholder større mengder organisk stoff. *Aerobacter aerogenes* har ofte vært funnet i slikt slam, samt *Serratia indica* og *Serratia marcescens*. Alle disse tilhører familien *Enterobacteriaceae*, og man bør være spesielt oppmerksom på at *Aerobacter* kan danne slikt slam, fordi dennes tilstedeværelse i vannet vil gi positivt utslag i de vanlige rutineanalyser for coliforme bakterier. Flere *Bacillus*-arter har også vært funnet i lednings-slam, deriblant den manganoksyderende *Bacillus manganicus*. Vi har også sett tilfeller der stilkebakterien *Caulobacter* har dannet vekst som holdt store rustmengder samlet i løse fnokker i vannet.

Beger har i sin bok en skjematisk framstilling av det han kaller «Det biologiske jern — mangan — spektrum». Dette er gjengitt på figur 4.

Vi kan oppsummere våre erfaringer slik:

1. Slam med jern- og mangan-oksyd uten tydelig innhold av aktive mikroorganismer tyder på at slammet er dannet ved fysisk eller kjemisk utfelling eller korrosjon.
2. Tilstedeværelsen av *Gallionella* og *Leptothrix ochracea* tyder på at slamdannelsen skyldes at vannet inneholder løst toverdige jern, eller at ubeskyttet jern står i forbindelse med surt vann.
3. Tilstedeværelsen av andre *Leptothrix*-arter eller *Crenothrix* tyder på at vannets innhold av mangan og organisk stoff er avgjørende for slamdannelsen.
4. Hvis slammet er dominert av andre bakterier enn disse, er dette en indikasjon på at det er vannets innhold av organisk stoff som er hovedårsaken til slamdannelsen, uansett om slammet er brunt eller ikke.

Konklusjonen må bli at både fysisk/kjemiske og biologiske prosesser er medvirkende til at det dannes slam i drikkevann. I utfelling av jern- og mangan-oksyde spiller de såkalte jernbakterier en viktig rolle; men også andre bakterier kan være indirekte årsak til slik utfelling. Slamdannelse forårsaket av bakterier kan bekjempes med desinfeksjonsmidler; men det kan være vanskelig å få desinfeksjonen til å bli vellykket. Det beste er å forsøke å fjerne hovedårsaken til slamdannelsen, og dette blir da et teknisk, og ofte også et økonomisk problem.