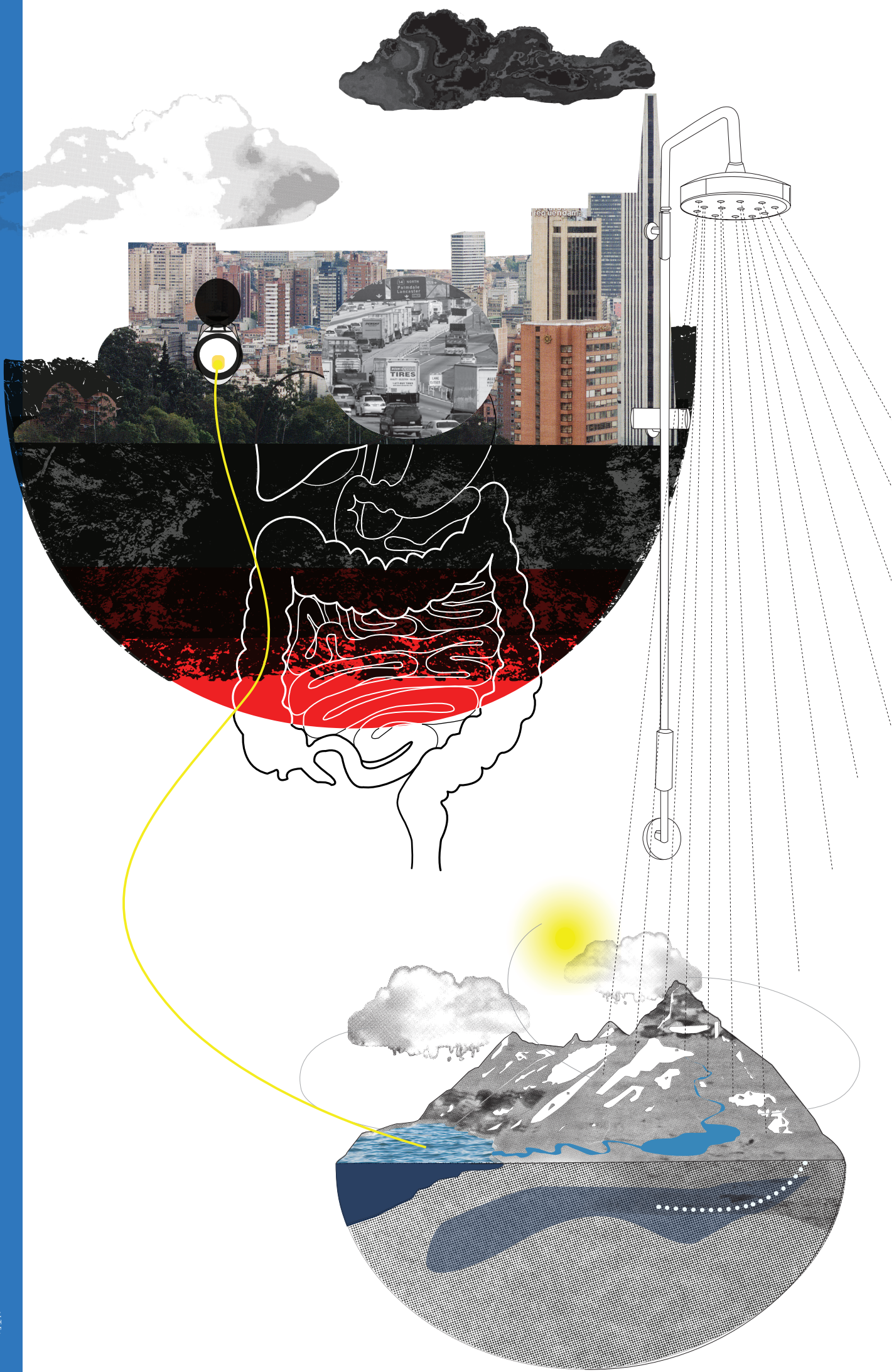


# Integrert landskapsdesign | naturbasert renseteknologi

Universitetet for miljø- og biovitenskap



# Integrert landskapsdesign | naturbasert renseteknologi

med temaark om fire natur- og kretsløpsbaserte  
renseanlegg på Østlandet

## Integrated Landscape Design | Ecological Sanitation and Nature-Based Solutions

including fact-sheets about four nature-based and ecological  
treatment systems implemented in Eastern Norway



Utgiver: Institutt for landskapsplanlegging, Universitetet for miljø- og biovitenskap 2010  
Illustrasjoner/utforming: Elin T. Sørensen  
Tilrettelegging av trykksak: Ulf Carlsson  
Korrekturlesning: Line Ulekleiv (2010), Hege T. Sørensen (2008)  
Format: Stående A4, 84 sider  
ISBN 82-483-0060-9  
Opplag: 50

### Anerkjennelse

Kathrine Strøm Brattli MNLA og Helge Hiram Jensen Ph.D. European University Institute, har vært diskusjonspartnere i utvikling av **Kretsløpslandskap** i del I.  
Del II **Grunnleggende prosesser** er skrevet med veiledning av Petter D. Jenssen, Professor ved Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM) – seksjon for jord.  
Kapittel om **Jordhauginfiltrasjon** er skrevet med veiledning av Jens Chr. Køhler, Bioforsk Jord og miljø. Beregninger for dimensjonering av jordinfiltrasjonsanlegg til Rådyrveien 20 er ved Køhler, basert på befarung i mai 2008.  
Illustrasjoner av Anne Langdalen på s. 26-27 er gjengitt med forfatterens samtykke.

### Takk

Helge Bakke, Feste Nordøst AS. Will Browne, Vidaråsen Landsby. Arne Bråthen og Halvor Glenne, Frogn kommune. Lars Fischer MNAL Grindaker landskapsarkitekter AS. Per Rosenborg, Åmot kommune. Jens Christian Køhler, Bioforsk jord og miljø. Rolf Sørensen (IPM) for veiledning i geologi. Eli Fuglestein (IPM) for tilrettelegging av rensedata. Astrid Brekke Skrindo (IPM) og Stina Pernholm, Veg Tech AB, for informasjon om skjøtsel av våtmarksbiotoper. Knut Wiik (ILP) for veiledning om digitale verktøyer. Erle Stenberg Stenberg/Sørensen for samarbeid om illustrasjoner og internettpublisering. Elin Børrud (ILP) og Petter D. Jenssen (IPM) for faglige innspill gjennom skriveprosessen. Grethe T. Sørensen for hjelp med kildeinnhenting – og til slutt min sønn William Lu som fulgte med på mange utforder og som alltid bidro med nysgjerrighet og oppfinnsomhet. Merci Ahmed.

Elin T. Sørensen, landskapsarkitekt MNLA  
Institutt for landskapsplanlegging • Universitetet for miljø- og biovitenskap UMB • Ås 2010



## Integrated Landscape Design | Ecological Sanitation and Nature-Based Solutions

### Abstract

The textbook «Integrated Landscape Design | Ecological Sanitation and Nature-Based Solutions» presents the development of a method for the description and visualization of ecological sewage treatment systems in Norway. Target groups are landscape architects, planners, architects, contractors, and technical staff in community administration. Four sites in the south-eastern part of Norway are examined to gain a better understanding of the technology, process design, and landscape adaptation. Based on this study, four separate fact-sheets present the locally adapted ecological sewage treatment system in an understandable language for non-specialists. The textbook presents the current research to expand the knowledge in the field of Ecological Sanitation (ecosan) amongst the building- and planning community. The research on the topic and the present case studies clearly show that an integrated design based on ecological concepts may provide a more adequate green structure in planning and management. An ecological approach requires co-operation between several actors across administrative boundaries on a long-term basis. To encourage ecological sound management, it is necessary to develop simple and to the point tools for conveyance of such concepts. Four fact-sheets developed with this study exemplifies how this might be achieved, with emphasis upon on the planning- and process design together with cross-disciplinary approaches. The textbook attempts to give an overview of the complex field of ecosan, as well as insights into basic processes relevant to wastewater treatment by natural means. As a conclusion, the combination of methods such as nature-based pollution control and functional-aesthetic design approaches are definitely the right steps towards creative ecology and integrated landscape design.

Keywords: Ecological sanitation, nature-based sewage treatment, demand based and adaptive stewardship, multi-functional planning strategies, ecosystem-based approach, cross-disciplinary cooperation, and process design

## Integrert landskapsdesign | naturbasert renseteknologi

### Abstrakt

Læreboka «Integrert landskapsdesign | naturbasert renseteknologi» presenterer ulike muligheter innen natur- og kretsløpsbasert rensing av avløpsvann. Arbeidet tar opp teoretiske aspekter ved feltet økologisk renseteknologi (omtalt som ecological sanitation eller ecosan på engelsk). Det gis en enkel og pedagogisk innføring om grunnleggende og naturprosesser som de naturbaserte rensemetodene bygger på. I tillegg omtales temaer som tverrfaglige planleggingsprosesser, landskapstilpasning, utforming og biotopbaserte plantevalg. Heftet inkluderer fire temaark som presenterer konkrete erfaringer om planlegging, drift, vedlikehold og utvikling av fire etablerte rensenanlegg på Østlandet. For de plantebaserte rensenanleggene er det laget tilleggsplansjer med beskrivelse av aktuelle plantearter og deres funksjon. Temaarkene er tilrettelagt for folk uten naturvitenskapelig eller vann- og avløpsfaglig bakgrunn. Samspillet mellom illustrasjoner og tekst bidrar til å gjøre fagstoffet lett tilgjengelig. Ecosan litteraturen, og de fire stedsspesifikke studiene, bekrefter at metoder for integrert og økosystembasert planlegging fanger opp mange sider av det komplekse konseptet bærekraftig utvikling. Tilnærmingen fordrer brukertilpasning, samarbeid på tvers av administrative og kunnskapsmessige grenser og et langsiktig perspektiv. Metoder for naturbasert forurensningskontroll i kombinasjon med estetiske og funksjonelle landskapsdesign har stort potensial for økt opplevelsesverdi og landskapskvalitet. Etablering av naturbaserte rensenanlegg med innslag av vann og en flersjiktet naturlig vegetasjon med samplaninger bidrar til bevaring og restaurering av biologisk mangfold. Heftets formidling av ecosan-praksiser er ment å motivere og inspirere til å satse på økosystembasert planlegging og forvaltning—både i vann- og avløpssektoren og i by- og stedsutviklingen.

Nøkkelord: Økologiske sanitærsystem, natur- og kretsløpsbasert rensing av avløpsvann, multifunksjonell landskapsplanlegging, behovsprøvd og adaptiv forvaltning, økosystembasert ressurs håndtering, tverrfaglig samarbeid og prosessdesign

<b>ORDLISTE</b>	4
<b>FORORD</b>	7
<b>INTRODUKSJON</b>	9
<b>I KRETSLØPSLANDSKAP</b>	
<b>1 Kretsløpslandskap</b>	11
<b>1.1 Bærekraft som bakteppe</b>	14
1.1.1 Økosystemtilnærming	14
1.1.2 Livssykluslignende tilnærming	15
<b>1.2 Naturbasert renseteknologi – ecosan</b>	16
1.2.1 Natur- og kretsløpsbasert forurensningskontroll	17
<b>1.3 Miljørettet fysisk planlegging</b>	18
1.3.1 Landskap og miljø	18
1.3.2 Integriert design	18
1.3.3 Landskapsurbanisme	19
<b>II GRUNNLEGGENDE PROSESSER</b>	
<b>2.1 Kretsløpene</b>	23
2.1.1 Vann	23
2.1.2 Nitrogen	24
2.1.3 Fosfor	24
2.1.4 Karbon	25
<b>2.2 Næringsstoffer</b>	28
2.2.1 Gjenbruk av avløps slam	30
<b>2.3 Jord</b>	33
2.3.1 Jordbaserte rensemetoder	34
<b>2.4 Vegetasjon og vann</b>	37
2.4.1 Plantebaserte rensemetoder	38
2.4.2 Våtmark	39
2.4.3 Konstruert våtmark	40
2.4.4 Vannbaserte rensemetoder	42
2.4.5 Vegetasjonens rolle i konstruert våtmark	42
2.4.6 Planlegging og etablering av naturhermende biotoper	44
2.4.7 Skjøtsel av våtmark	45
<b>III STEDSBASERTE STUDIER</b>	
<b>3.1 Utvikling av temaark for naturbaserte rensemetoder</b>	53
3.1.1 Økologisk renseteknologi – 1992	54
3.1.2 Temaark renseløsninger – fra 2008	54
3.1.3 Svensk eksempelsamling – 2002	54
3.1.4 Temaark ecosanprosjekt – fra 1993	56
3.1.5 Naturbasert – temaark	56
<b>3.2 Intervjuer</b>	58
3.2.1 Bakgrunn	58
3.2.2 Formidling	59
3.2.3 Planprosess	60
3.2.4 Landskap og naturgrunnlag	63
3.2.5 Rensemetode	64
<b>3.3 Jordhauginfiltrasjon</b>	68
<b>IV OPSUMMERING</b>	
<b>4.1 Naturressurser og integrert design</b>	73
<b>4.2 Kretsløpslandskap</b>	73
<b>4.3 Formidling, forankring og utvikling</b>	74
<b>KILDER</b>	77
<b>APPENDIKS</b>	79



Ordliste fra A-Å

**A**

**Abiotisk**: Av ikke-levende opprinnelse.

**Adaptiv**: Evne til tilpasning. I denne sammenhengen forstått som en tilpasset og endringsbasert tilnærming til planprosess, prosjektutvikling, oppfølging og vedlikehold.

**Adsorbere**: Det at et fast legeme i sin overflate opptar og binder stoffer fra omkringliggende gass eller væske.

**Aerob**: Reaksjoner som krever oksygen for å leve (om organismer).

**Aerob prosess**: Prosess der energi blir frigjort ved forbruk av oksygen.

**Anaerob**: Reaksjoner som kan leve og utvikle seg uten tilgang av fritt oksygen (om organismer).

**Anaerob prosess**: Prosess hvor energi blir frigjort uten forbruk av oksygen.

**Anoksisk**: Oksygenmangel i biologiske prosesser.

**B**

**Biofilm**: En film av mikroorganismer som vokser på jordaggregater og planters rotsone. Biofilm forbrukes og fornyes kontinuerlig. Høy biologisk aktivitet er gunstig for nedbrytning av avfallstoffer.

**Biotisk**: Det som gjelder liv eller levende vesener.

**Biotop**: Sted der levende organismer finnes; noenlunde ensartet område som er levested for et bestemt samfunn av planter og dyr.

**Biotophermende design**: Oppbygning av natursystem etter mønster av naturen. Eksempelvis herme naturens egen samplanting og biotopsammensetning. Regnes som et egnet klimatilpasningstiltak.

**BOF**: Biokjemisk oksygenforbruk. Brukes om andel oppløst oksygen i vannmassene som forbrukes når organisk materiale brytes ned ved mikrobiell aktivitet. Høyt BOF indikerer fallende oksygennivå, som igjen har negativ innvirkning på biodiversitet.

**D**

**Denitrifikasjon**: En prosess der nitrat under innvirkning av bakterier blir redusert til nitritt, ammoniumforbindelser eller fritt nitrogen.

**E**

**Ecosan – ecological sanitation**: Samlebetegnelse for metoder og praksis innen behandling av avløpsvann, hvor det tas hensyn til økologi, økonomi og teknologiske muligheter sammen med samfunnsmessige, sosiale og kulturelle aspekter knyttet til vann- og sanitærløsninger.

**Enderesipient**: Luft, vann, vassdrag eller havområde som mottar forurensende utslipp.

**Estetikk**: På gresk relateres ordet *aisthesis* til sansekunnskap, og estetikk kan defineres som menneskers opplevelse og sansing av omgivelsene. Estetikk forbindes også med studier av skjønnhet og smak.

**F**

**Fakultativ biodam**: Rensedam hvor oksygentilgangen er vekslende på grunn av dammens dybde. Øvre lag har oksygen, og her foregår aerobe rensprosesser. Nedre lag har lite tilgjengelig oksygen, og her foregår anaerobe rensprosesser.

**FDVU-dokumentasjon**: Forvaltning-, drift-, vedlikehold- og utviklingsdokumentasjon for bygg og anlegg.

**FiltraliteP**: Lettvektsaggregat (LVA) eller lettklinker laget av brent leire. Lettklinker har spesielt høy renseevne fordi aggregatenes porøsitet gir stort overflateareal (Jenssen et al. 2000).

**Fosfor** (P): Grunnstoff.

**FNs tusenårssmål**: I 2000 kom FN med *Tusenårsmålene* i form av åtte fellesmål som skal nås på global basis innen 2015. Mål 7 tar opp bærekraftig utvikling og inkluderer temaene *vann, skog* og *energi*. For *vann* er målet å halvere tallet på de av verdens befolkning som ikke har tilgang til vann og avløp: *”Ifølge Verdens helseorganisasjon er helsefarlig vann og dårlige sanitærforhold årsak til cirka 80 prosent av alle sykdomstilfeller i verden. Befolkningen i urbane strøk er bedre stilt enn folk på landsbygda, men selv vann fra kommunale vannverk kan inneholde smittebærende organismer og forurensning fra industrien. De uten tilgang til trygg vanntilførsel møter en daglig kamp for å dekke behovene sine og den konstante faren for sykdommer fra vannet”* Pedersen (2004). *Mål 7: Bærekraftig utvikling.* FN-sambandet *fn.no/temasider/fns\_tusenaarsmaal* lest 15.07.2008).

**Føre var-prinsippet**: Der det er fare for alvorlig eller uopprettelig skade, skal mangel på full vitenskapelig sikkerhet ikke brukes som argument for å utsette kostnadseffektive tiltak for å forhindre miljøskader. Dette innebærer *“at tvilen skal komme naturen til gode der det er vitenskapelig usikkerhet”*. Eksempelvis er klimaendringene i praksis irreversible. Skadene er allerede alvorlige og forventes å øke betraktelig hvis det ikke blir satt i verk tilstrekkelige utslippsreduksjoner. Selv om det ikke er full visshet om sammenhenger og framtidig utvikling, må ambisjonsnivået i den globale klimapolitikken ta utgangspunkt i sannsynlige scenarier, med særlig vekt på potensielt dramatiske utfall (Nasjonalbudsjettet for 2007).

**G**

**Grønnstruktur**: Veven av store og små naturpregede områder, også kalt “den grønne infrastrukturen”. Grønntområdene kan være mer eller mindre sammenhengende, og bestå av mange ulike arealtyper med varierende grad av opparbeiding og tilgjengelighet for allmennheten [...] Den strukturelle oppbyggingen av grønntområder og grønne forbindelser mellom disse, har stor betydning både fra en landskapsmessig, rekreasjons- og helsefremmende, og en økologisk synsvinkel (*Revidert grøntplan for Oslo*, Plan- og bygningsetaten 2009).

**Grønnflatefaktor**: Uttrykker forholdet mellom økologisk effektiv overflate og totale tomteareal. Ved foretting/utbygging må utbygger kompensere for harde flater. Tette, ugjennomtrengelige flater ganges med faktor 0,0 (ingen verdi). Vann, vegetasjon, permeable flater ganges med faktor 1,0 (full verdi). Eksempler på grønne innslag som gir tilleggsareal er trær, variert/flersjiktet vegetasjon, grønne vegger/tak, bruk av vann. Metoden kan ta opp i seg nye elementer og ny kunnskap over tid, og regnes som et fleksibelt verktøy for å sikre tilstrekkelige blågrønne areal.

**Grønnflatefaktor = økologisk effektiv overflate totalt tomteareal**

**H**

**Hydrologi**: Studiet av vannkretsløpet og vannressursene i hydrosfæren.

**Hygienisering**: Reduksjon av smittestoffer som bakterier, parasitter og virus gjennom for eksempel kompostering og omdanning.

**K**

**Kalium** (K): Grunnstoff.

**Kalsium** (Ca): Grunnstoff.

**Karbon** (C): Grunnstoff.

**Klima- og miljøvennlig grøntanlegg**: Anlegg hvor det tas hensyn til utslipp av klimagasser i alle faser: planlegging, gjennomføring/etablering, drift/skjøtsel. Blant annet innebærer det regnskap for hvilke materialer som brukes og materialenes opphav samt valg av metoder/løsninger som utelukker miljøgifter.

**Kretsløpstilnærming**: En byutviklingspraksis basert på kretsløpstilnærming omfatter en overgang fra lineære til sirkulære og lukkede systemer, eksempelvis en tilrettelegging for å gjenbruke avfall som ressurs. Konseptet om lukkede kretsløp relateres til hvordan naturlige økosystem fungerer. Kretsløpsmodellen kan brukes på ulike planleggingsnivåer – fra eneboliger til kvartal og metropoler (*State of the World – Our Urban Future*. The World Watch Institute 2007).

**L**

**Lignoser**: Samlenavn for vedaktige busker og trær.

**Lokal overvannsdisponering** (LOD): *”Åktuelle konstruerte LOD-tiltak er grønne tak, regnbed (blomsterbed med vannkjære planter), dammer og våtmarker, grunne og gressdekkede grøfter (fremfor overvannsrør), og areal som kan stå under vann i en kort periode som P-plasser, parker etc.”* (*Tenk nytt - unngå flom*. Aftenposten artikkel 20.07. 2007. *aftenposten.no/meninger/debatt/article1894466.ece* lest 15.05.2008.)

**M**

**Multifunksjonelle anlegg**: Multifunksjonalitet vil si at et anlegg støtter opp om mange funksjoner og verdier. For et grøntanlegg innebærer det at anlegget fungerer godt estetisk i tillegg til å være en sosial arena for lek og friluftaktiviteter. Anlegget anvendes også som naturlig infiltrasjonsareal for nedbør, flomtiltak og for rensing av vann, jord og luft. Biologisk variasjon og flersjiktet vegetasjon bidrar til å optimalisere livsbetingelser for både planter og dyr. Multifunksjonelle anlegg er egnet som opplæringsarena og kan brukes som *grønne klasserom* for barnehager, grunn- og videregående skole, i voksenopplæring og innen grønn omsorg. Etablering og oppfølging av multifunksjonelle grøntanlegg bør inkludere forskning og utvikling. Publisering av funn og utvikling av konkrete løsninger er spesielt relevant i klimatilpasningssammenheng (Sæbø & Sørensen 2010).

**N**

**Nitrogen** (N): Grunnstoff.

**Nitrifikasjon**: Danning av salpetersyre ved oksidasjon av ammoniakkk.

**Naturtilstand**: Naturgitte faktorer som klima, nedbør, avrenning, berggrunn, løsmasser, flora og fauna betinger et steds naturgitte tilstand, eller naturtilstand.

**P**

**Personekvivalent** (pe): Tilsvareer én person.

**R**

**Resipient**: Luft, vann, vassdrag eller havområde som mottar forurensende utslipp.

**S**

**SFT**: Statens forurensningstilsyn (nå Klima- og forurensningsdirektoratet).

**SP**: Suspenderte partikler, eller partikler “svevende” i væske (*suspended solids* på engelsk).

**Samplanting**: Sammensetning av planter ut fra hvilke planter som kan beskytte hverandre (biokjemisk). Samplanting gjøres etter mønster av naturlige biotoper, og omfatter valg av planter tilpasset stedlige betingelser som klima- og jordbunnsforhold, i motsetning til bruk av innførte arter. Samplanting gir naturlig plantevern og robuste grøntanlegg. Metoden regnes som et godt klimatilpasningstiltak.

**T**

**Tålegrenseprinsippet**: Handler om å sette mål i forhold til naturens bæreevne og rensekapasitet. Prinsippet forutsetter vurderinger basert på økosystemet som helhet, og å se miljøkonsekvenser i sammenheng. Prinsippet ligger blant annet til grunn for *Klimakonvensjonens* mål om å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren på et nivå som forhindrer irreversible påvirkninger på klimasystemet. (*St.meld. nr. 34 (2006-2007) Norsk klimapolitikk* avsnitt 3.1.)

**U**

**Urban økologi**: Byplanlegging hvor komplekse, dynamiske prosesser og naturbaserte mekanismer legges til grunn for bærekraftig byforming.

**V**

**Vegetasjonsteknikk**: Vegetasjon integrert som en del av arkitektur, teknisk- og transportrelatert infrastruktur. Bruken av vegetasjon omfatter å nytte vekstenes naturlige egenskaper, som evnen til å

bedre luft-, jord- og vannkvalitet og/eller plantenes temperaturutjev-nede effekt. Vegetasjonsteknikk bidrar også til å gjøre steder mer opplevelselsesrike og attraktive (*Vegetasjonsteknik*, Veg Tech AB 2008).

**Ø**

**Økologi**: Læren om interaksjon mellom organismer og miljøet.

**Økologiske arealprinsipper**: Forholdet mellom grøntområdenes størrelse og avstand er sentrale i grønnstruktursammenheng. Forutsetningen for et økologisk plangrep er at avstanden mellom grøntarealene ikke er for stor. Forståelsen av grøntarealene som dynamiske systemer er viktig for å opprettholde stedlig biotopmangfold. Gjenskapning av ødelagte naturtyper, erstatningsbiotoper og/eller gjenåpning av vassdrag, er noen eksempler på hvordan arealer kan få ny verdi i form av dynamiske naturmiljøer (*Revidert grøntplan for Oslo*, Plan- og bygningsetaten 2009).

**Økologisk fotavtrykk**: Metode for å måle menneskers forbruk av naturressurser. Økologisk fotavtrykk måles i arealenheter – det vil si andel areal som er nødvendig for at naturen skal kunne fornye ressursene som forbrukes. I 2001 var fotavtrykket for jordas samlede befolkning på 1,8 hektar per person. Beregning fra 2006 viser at det samlede fotavtrykket for Oslo var på 8 hektar per person. En undersøkelse gjennomført av Prosus (2002) viser at boligtetthet, sentrumsavstand og boligtype er bestemmende for en husholdnings økologiske fotavtrykk (Lafferty 2002).

**Økologiske prinsipper**: Økologiske prinsipper relateres ofte til øko-logisk landbruk og et miljøvennlig produksjonssystem for spiselige produkter. I dette systemet er det krav til metoder som ikke-kjemisk plantevern og å unngå bruk av kunstgjødsel. Innen urban økologi handler det om hvordan grøntarealene knyttes til stedlige øko-systemer, og det å bruke naturelementenes egenskaper og funksjo-ner. Eksempelvis ved å tilrettelegge for samspill mellom individer, arter og miljøfaktorer som klima, jord og topografi. Eller ved å stimu-lere til naturlig plantevern gjennom samplanting, det at ulike planter plasseres sammen fordi de har positiv innvirkning på hverandre og “beskytter” hverandre. Målet er at anleggene skal fungere ut fra et helhetlig perspektiv med hensyn til arealinngrep, naturlig suksesjon, balanse mellom artene i anlegget og ytre påvirkningsfaktorer, jf **Økologi** (Sæbø & Sørensen 2010).

**Økologisk driftsform**: Skjøtselsform basert på langsiktige mål for å oppnå planter som er godt rustet mot sykdom og skadedyr. Et grep er å stimulere til nedbryting av organisk materiale i hager og grøntanlegg ved å etterlate organisk materiale der det ikke er skjem-mende for helhetsinntrykket. Et annet grep er å bruke organisk gjød-sel som stimulerer de naturlige prosessene hos jord og planter, og som styrker plantenes evne til å ta opp næring og vann. Ved sykdom eller angrep av skadedyr søkes det etter årsak. Sykdom behandles etter økologiske metoder. For ugresskontroll innebærer det bruk av mekaniske eller termiske metoder. Kunnskap om ugressets biologi er avgjørende for et godt resultat, uansett metode. Ved nyanlegg er det spesielt viktig å vurdere tiltak for å fremme en økologisk driftsform ved bruk av gode, ugrasfrie dyrkingsmasser, godt forarbeide, bruk av jorddekke, riktig plantevalg og ved å plante tett nok (hageform.no/oekologi.html lest 05.01. 2009.)

**Økosystemtjenester**: Beskriver funksjonene i naturen som påvirker og regulerer det fysiske miljøet, også de funksjoner som dekker men-skers behov. Noen eksempler på økosystemtjenester er at vann og vegetasjon har rensende egenskaper, at vann og vegetasjon virker klimaregulerende i tette byer og har positiv innvirkning på helse og livskvalitet. Økosystemtjenestene er basert på biologisk mangfold, og det å bygge opp biomangfold gir oss de nødvendige økosys-temtjenestene. Ved å integrere alle økosystemtjenestene i etablering og/eller opprusting av byrom får vi multifunksjonelle steder som fremmer helse og trivsel, stedlig identitet, blågrønn struktur og som i tillegg gir nye læringsarenaer (Kruuse, A. 2001. Forelesning: *Tåta och gröna staden: lösningar i Malmö och omvärlden*. ISU – Institutt for holdbar stadsutveckling, Malmö 2010.)

## Integrert landskapsdesign | naturbasert renseteknologi

### Forord

Heftet om integrert landskapsdesign og naturbasert renseteknologi er en bearbeiding av Elin T. Sørensens masteroppgave *Utvikling av metode for beskrivelse, visualisering og vurdering av økologiske sanitærssystemer* fra 2008. Publikasjonen inngår i en serie av særtrykk initiert og publisert av Institutt for landskapsplanlegging (ILP). Hensikten med disse særtrykkene er å løfte frem spesielle emner og kunnskap som enten er på siden av curriculum eller som har en spesiell aktualitet.

Sørensen tok sin Master i landskapsarkitektur ved ILP. Selve Masteroppgaven er utført som et samarbeid mellom ILP og Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM) ved Petter D. Jenssen, professor ved seksjon for Jord. Oppgaven er således et verdifullt bidrag til samarbeidsmulighetene ved UMB. Det tverrfaglige naturvitenskaplige forskningsmiljøet på Ås er en styrke ved UMB som også er viktig for ILP. Masteroppgaver som utvikles på tvers av instituttene vil kunne dra nytte av denne styrken.

Formålet med heftet er å presentere masteroppgavens tema i en mer kompakt og spesialisert form. ILP betrakter dette temaet som viktig kunnskap for fremtidens landskapsarkitekter og planleggere. Her ligger det en forventning om å skape en bredere forståelse for naturbasert forurensningskontroll og integrert landskapsdesign.

Med dette heftet ønsker ILP å spre kunnskap om et aktuelt tema i landskapsarkitektur og fysisk planlegging. Vi håper særtrykket ikke bare blir lest, men også anvendt i praksis og at andre studenter lar seg inspirere til lignende tverrfaglige studier.

Ås 2010

Institutt for landskapsplanlegging

Eva Falleth—instituttleder



***Phragmites australis* (takrør)**

Vanlig plante ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. Rotaktiviteten hos takrør bidrar til forbedret struktur i filtermasser i konstruert våtmark og damanlegg. Her fra dam ved Vidaråsen landsby.

Foto: Elin T. Sørensen 2008.

## Introduksjon

Klimaendringer, miljøproblemer og en voksende mengde avfall og forurensning, er store utfordringer alle fagfelt må forholde seg til i vår tid. Utfordringene stiller nye krav til oss som profesjonelle. Landskapsarkitekten og arkitekten må bevege seg i grenseområdene for hva faget tidligere har inneholdt. Vi må bygge opp en forståelse for sammenhengene i naturen, de økologiske kretsløpene, og lokale løsninger på globale problemer. Dette krever at vi må gå inn i andre fagfelt, at vi skal etterstrebe tverrfaglighet, og at vi løfter blikket og ser hvordan det vi gjør forholder seg til en overordnet økologisk helhet.

Det kommer til å bli våtere, varmere og villere. Våtmarkene har en viktig funksjon som naturens egen forurensningskontroll og fordrøynings av overflødig vann. Etablering av konstruerte våtmarkssystemer representerer derfor en viktig strategi for håndtering av overflatevann og forurensninger. Ikke minst er slike anlegg med på å øke grønflatefaktoren som både bidrar til å redusere og forebygge negative konsekvenser av mer kraftig og intens nedbør.

Det er en tendens til at landskapsarkitektur og arkitektur handler mer om estetikk og mindre om grunnleggende økologisk funksjonalitet. Derfor er det oppløftende å se hvordan foreliggende arbeid forener estetisk kvalitet og økologisk funksjon. I tillegg til sin fagutdannelse som landskapsarkitekt er Sørensen billedkunstner. Hennes flerfaglige kompetanse er her utnyttet til å formidle kompliserte sammenhenger. Gjennom en visuell tilnærming synliggjøres hvordan naturbaserte avløpsrensesystemer virker sammen med omgivelsene hvor de inngår. Fremstillingene er tydelige, vakre og informative. Kombinasjonen av illustrasjoner og tekst vil både kunne bidra til at fysiske planleggere og fagpersoner innen avløpssektoren lettere kan vurdere hvordan slike anlegg kan innpasses i planer.

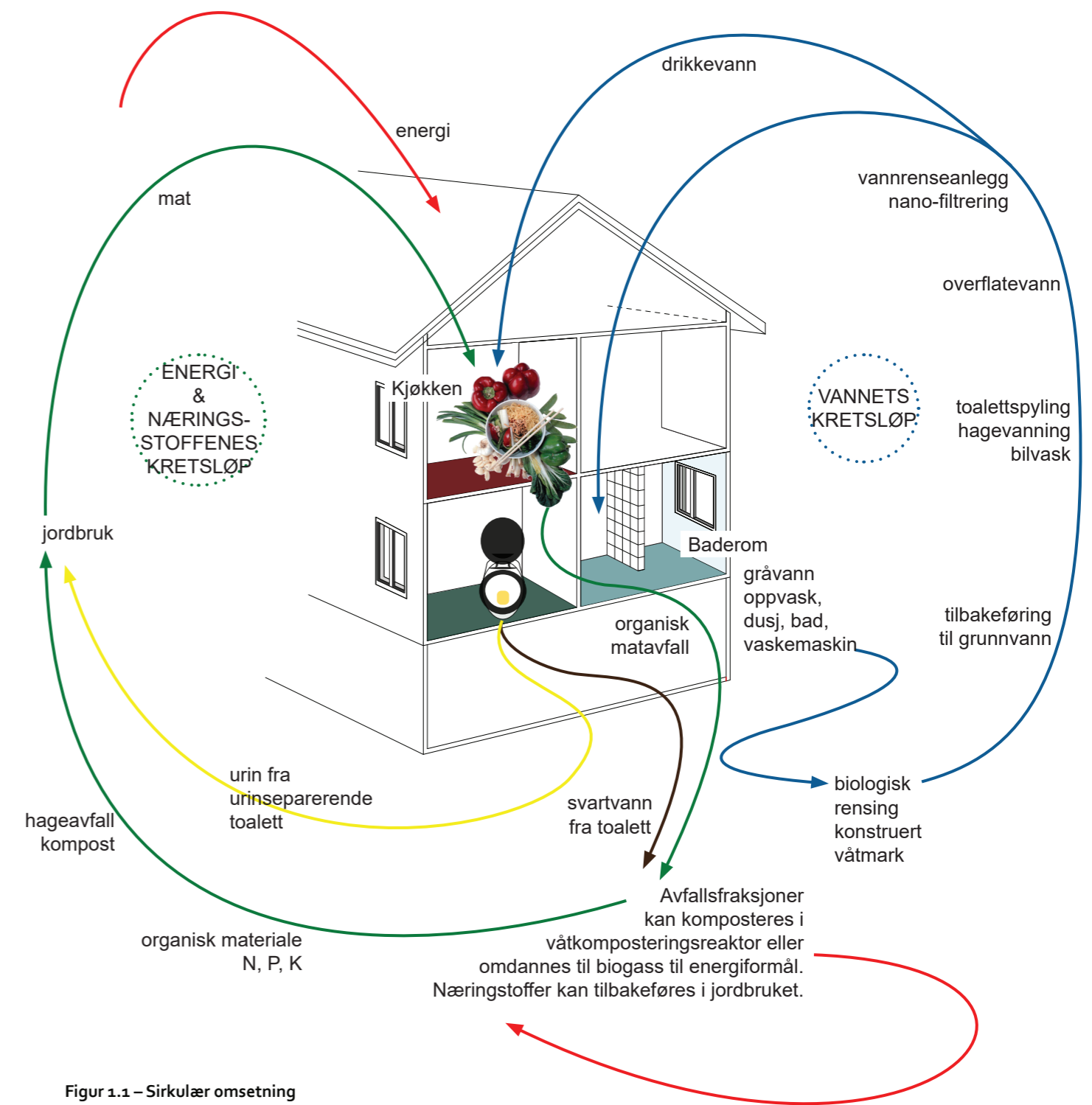
Vi håper at dette arbeidet vil kunne inspirere mange flere til å ta i bruk naturbaserte løsninger.

Elin Børrud, professor ved Institutt for landskapsplanlegging, seksjon for By- og regionplanlegging  
*hovedveileder*

Petter D. Jenssen, professor ved Institutt for plante- og miljøvitenskap, seksjon for Jord  
*naturfaglig veileder*

Frederica Miller, arkitekt MNAL, Gaia Arkitekter Oslo  
*sensor*

# I KRETSLØPSLANDSKAP

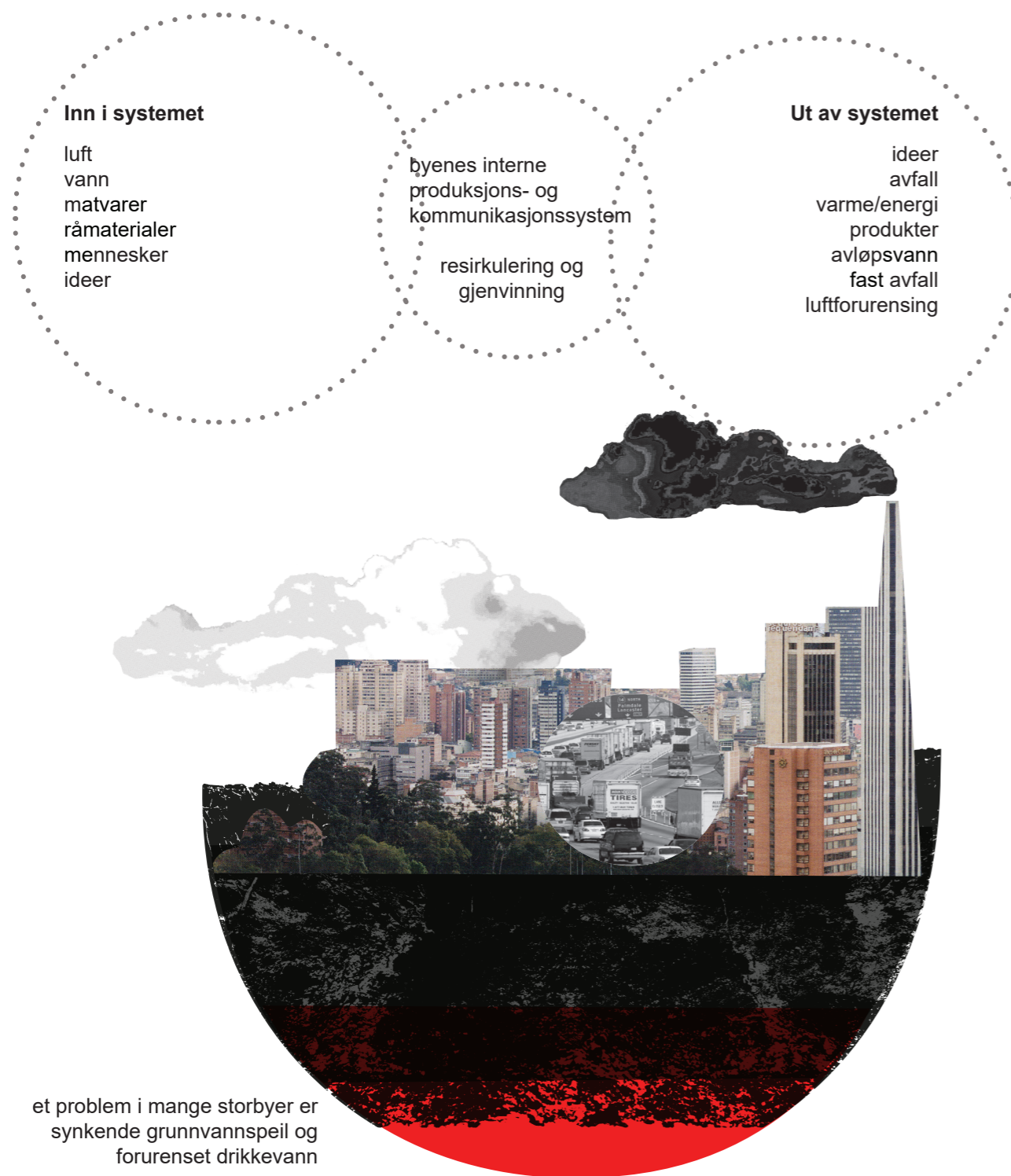


**Figur 1.1 – Sirkulær omsetning**

Alle som bor eller arbeider på et sted er en del av et kretsløp. Kretsløpsløsninger handler om å håndtere energi, avfall og vann for bosteder og virksomheter. Målet er å skape bolig- miljøer som bygger på en holdbar ressursforvaltning, hvor energiforbruk og avfall minimeres samtidig som husholdning og gjenvinning maksimeres. Kretsløpsstrategien handler altså om **overgangen fra lineære til sirkulære systemer. Konseptet om å lukke kretsløpene for vann og næringsstoffer relateres til hvordan naturlige økosystem fungerer.** Rapporten *State of the World 2007 – Our Urban Future* (The Worldwatch Institute) beskriver en **urbanisering basert på sirkulær omsetning** (circular metabolism). Kretsløpsmodellen kan brukes på ulike planleggingsnivå – fra eneboliger til kvartal og metropoler. Autonomhuskonseptet, hvor bygg designes som selvgående, produktive system som er uavhengig av felles infrastruktur som avløp, vann og energinett, kan sees som retningens ytterste konsekvens.

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på Rosemarin (2005). Figur 5, s. 112. *Water Science & Technology* 8:2005; Alsén (2006). Closing the loop *ecosan.no*.





**Figur 1.2 – Vann i verdens storbyer**

I 2050 anslås det at 80 prosent av verdens befolkning vil bo i byer, og byveksten skjer hovedsakelig i mindre utviklede regioner. Per i dag er det 411 storbyer på verdensbasis med et innbyggertall på over 1 million. Industrilandene er ca 75 prosent urbanisert, mens en rasktvoksende urbanisering av såkalte utviklingsland har nådd 40 prosent. Kun 2 prosent av jordas overflate er urbanisert, samtidig står disse arealene for 60 prosent av verdens totale vannforbruk (Rosemarin 2005).

Vestens befolkning forbruker i snitt 200 liter vann daglig og mange av verdens storbyer har passert et bærekraftig forbruk av vann. Behovet for rensing og gjenbruk vil øke. I følge Ødegaard (2008) vil vannet i framtidens byer ha fire kvalitetsnivåer: (1) Drikke, matlaging, personlig hygiene. (2) Husvask, klesvask, oppvask. (3) Toalettspyling. (4) Bilvask, park- og hagevanning. Framtidens boliger vil ha separate kraner for ulike formål. Løsninger som regnvannsopsamling, konstruerte dammer som vannkilde, rensing og filtrering for gjenbruk av ressursene i avløpsvann vil inngå som integrerte landskapselementer i framtidens byrom (Ødegaard 2008).

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på Botkin & Keller (2003). *Environmental science: earth as a living planet*. Kap. 27. Figur 27.4.

## 1 KRETSLØPSLANDSKAP

Byer og infrastruktur er ikke motpoler til naturen. De kan sees som levende systemer i slekt med det samspill og dynamikk som skjer i tilgrensende naturmiljøer. Funksjonene i naturen påvirker og regulerer det fysiske miljøet, inkludert menneskelige aktiviteter og behov. En optimal design er nådd når systemene drar veksler på hverandre. Ved å koble nødvendige menneskelige inngrep med de tjenestene naturen gir oss, eksempelvis egenskaper i vann, jord og planter, kan vi legge opp til smartere byer.

At vi legger prinsipper for bærekraft som overordnede premisser for samfunnsutviklingen er i dag en selvfølge. Konsekvensen av dette bør være at den nødvendige produksjon av varer og tjenester ikke er til byrde for naturen vi er avhengig av. Det er nå fullt mulig å legge opp til bygg og anlegg som ikke forbruker, men som gir energi. Det er tenkelig å planlegge byer som tar opp CO<sub>2</sub> istedenfor å produsere utslipp. Dette krever et skifte fra *objektorientert prosjektering* til *kretsløpsplanlegging*, et skifte fra *lineære prosesser* til *løsninger basert på full sirkulasjon*. Det innebærer at vi må løfte blikket fra det bygde objektet og ta inn *nettverkene av relasjoner og interaksjoner*. Og at forhold som hydrologi, vegetasjon, energi, forurensing – eller forvaltning av sosiale relasjoner – ikke behandles isolert. Det innebærer at vi må finne veier for å styrke *båndene* mellom slike tema. Landskapsarkitekter, bygge- og forvaltningsbransjen forøvrig, må innta nye roller. Større grad av langsiktighet, flerfaglighet og samhandling må til.

Kretsløpsbaserte systemer vil kunne gi svar på mange av utfordringene vi står overfor – som tilpasning til et endret klima, som er følgen av økt forbruk og klimagassutslipp. Fotosyntesen motvirker problemer som luftforurensing og høye temperaturer i urbane miljøer. Blågrønne løsninger har potensial til å gi lavere CO<sub>2</sub>-utslipp, bedre luftkvalitet, og redusert forurensning. Åpne overvannsløsninger fordrøyer overflatevann og bidrar til at behovet for kostbar fornyelse av avløpsnett for å ta unna stormregn minskes. Kretsløpsplanlegging handler om å legge opp til en stedsutvikling og forvaltning som styrer mot rette valg. Det dreier seg om å finne frem til intelligente koblinger mellom livsstil og teknologi. Atferd kan ikke determineres, men det er fullt mulig å forme omgivelser som stimulerer til ønskede forbruksmønstre.

Bærekraftig planlegging, landskapsurbanisme, metoder som livssyklusanalyser og naturbasert renseteknologi har mange berøringspunkter med hverandre. Infrastruktur for forsyning av vann, energi, håndtering av avfall og avløp er nødvendige elementer i det moderne landskapet. Spørsmålet er hvordan disse installasjonene plasseres i og innvirker på omgivelsene? Dette er ikke nye tanker. Allerede i 1992 skriver Jenssen et al.: *“Dagens konvensjonelle renselanlegg fremhever sjelden landskapets estetiske kvaliteter mens økologiske rensemetoder som for eksempel konstruerte våtmarker i større grad kan integreres i et naturlig miljø.”*

Multifunksjonelle egenskaper hos vann og vegetasjon som forurensingskontroll og helsefremmende, identitets- og trivselsskapende kvaliteter bør verdsettes på linje med tradisjonelle samfunnsøkonomiske hensyn. Kunnskap om jord og plantearters spesielle egenskaper og funksjoner har potensial til å gi oss mer estetisk tiltalende, robuste, klima- og miljøvennlige anlegg. Det gjelder utforming av parker

så vel som anlegg for teknisk infrastruktur. Og en selvsagt oppgave for landskapsarkitekter er å finne ut av hvordan naturen, eller det naturlige, kan bringes inn i urbane miljøer. Konseptet *kretsløpslandskap* kan brukes for å forklare og beskrive landskapsarkitektur som synliggjør prinsipper for *lukkede materialkretsløp (closing the loop systems)*. *Kretsløpsplanlegging* kan gi oss steder hvor vi kan oppleve at naturlige kretsløp inngår som estetiske elementer og problemløserne.

Hftet *Integrert landskapsdesign | naturbasert renseteknologi* skal gi økt forståelse for denne typen planlegging. Første avsnitt forklarer begreper og metoder som *økosystemtilnærming*, *kretsløpsbasert avløpshåndtering*, *livssyklusanalyser (LCA)* – som alle relaterer til det mangesidige feltet *bærekraftig utvikling*. Neste avsnitt beskriver *Ecological Sanitation (Ecosan)* – en internasjonal praksis for naturbasert vann- og avløpshåndtering. Siste avsnitt tar opp spørsmål rundt landskapsarkitektenes muligheter til å bidra til et mer integrert landskapsdesign.

Kretsløpsplanlegging går på tvers av miljøtema og fagdisipliner. Konseptene introduseres som et verktøy for å nytte sammen ulike diskurser innen integrert landskapsplanlegging – i denne sammenhengens naturbasert renseteknologi spesielt. Kretsløpslandskap beskriver steder og situasjoner der naturlige kretsløp inkluderes som estetiske og funksjonelle deler av den fysiske utformingen. Min påstand er at en slik tilnærming styrker landskapet som omgivelse og opplevelse.

### Boks 1.1 – Økosystemtjenester

Beskriver funksjonene i naturen som påvirker og regulerer det fysiske miljøet, også de funksjoner som dekker menneskers behov. Noen eksempler på økosystemtjenester er at vann og vegetasjon har rensende egenskaper som bidrar til bedre lokal luftkvalitet. Vegetasjon og vann virker klimaregulering i tette byer og har positiv innvirkning på helse og livskvalitet. Økosystemtjenestene er basert på biologisk mangfold, og det å bygge opp biomangfold gir oss de nødvendige økosystemtjenestene. Når vi tilrettelegger for alle økosystemtjenestene i planlegging og realisering av byrom får vi multifunksjonelle steder som fremmer helse og trivsel, aktiviteter, stedlig identitet, blågrønn struktur og nye læringsarenaer og pedagogiske muligheter (Kruuse, A. 2001).

### Boks 1.2 – Multifunksjon

Multifunksjonalitet vil si at et anlegg støtter opp om mange funksjoner og verdier. For et grøntanlegg innebærer det at anlegget fungerer godt estetisk i tillegg til å være en sosial arena for lek og friluftaktiviteter. Anlegget anvendes også som naturlig infiltrasjonsareal for nedbør, flømtiltak og for rensing av vann, jord og luft. Biologisk variasjon og flersjiktet vegetasjon bidrar til å optimalisere livsbetingelser for både planter og dyr. Multifunksjonelle anlegg er egnet som opplæringsarena og kan brukes som *grønne klasserom* for barnehager, grunn- og videregående skole, i voksenopplæring og innen grønn omsorg (Sæbø, forskningsleder Bioforsk Vest Særheim & Sørensen MNLA 2010).

### 1.1 Bærekraft som bakteppe

Bærekraftig utvikling ble lansert i dokumentet *Vår felles fremtid* (Brundtland 1987) – som kan sees som en global handlingsplan for oppnåelsen av et bærekraftig, eller holdbart, samfunn. Brundtland-kommisjonens kjente definisjon omfatter en utvikling som imøtekommer dagens behov uten å forringe mulighetene for kommende generasjoner til å få dekket sine behov. Siden den gang har ordlyden inngått i de fleste festtaler og dokumenter relatert til utvikling og miljø. I dag oppfatter mange bærekraftig utvikling som tappet for mening. Statusen gjør at det både er interessant og nødvendig å fylle konseptet med nytt innhold. Sammen med nye diskurser som landskapsurbanisme, bidrar utviklingen av såkalt grønn teknologi og design til å puste nytt liv i prinsippene for bærekraft. I det følgende gis en kort gjennomgang av noen sider ved en holdbar samfunnsutvikling.

Bærekraftig utvikling bygger på målene om at alle mennesker skal ha like muligheter til å dekke sine grunnbehov, og at naturgrunnlaget som leverandør av økosystemtjenester skal vedvare som kilde til velferd for kommende generasjoner. Global økonomisk vekst må til for å løse fattigdomsproblemet. Det betyr at "veksten (utviklingen) må få et annet innhold, med bedre sosial fordeling og mindre uttak av naturressurser og miljøbelastning" (Bugge 2006). Eksempelvis har klimapolitikken betydelige fordelingsvirkninger: "Klimaendringene slår svært ulikt ut mellom land og folkegrupper, og dette burde gi klimapolitikken et sterkt element av rettferdig fordeling og internasjonal solidaritet. Dette forsterkes av det forholdet at de rike landene står ansvarlig for det aller meste av den økte konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. Kravet om solidaritet og rettferdig fordeling gjelder like tydelig mellom generasjoner. Klimagassutslippenes størrelse og vekst utgjør i dag ett av de klareste bruddene på prinsippet om en bærekraftig utvikling" (Miljøverndepartementet 2006-2007).

Lafferty (2002) hevder at det er den økologiske komponenten som gir bærekraftbegrepet en logisk forankring. Det innebærer at menneskelige aktiviteter hensyntar innbyrdes forhold mellom alle naturlige komponenter. Ariansen (1996) relaterer bærekraftkonseptets opprinnelse til bio-økonomiske studier som tar for seg balansen mellom forbruk og råstoffutvinning: "En innhøstning som står i forhold til fornyelseevnen kalles et bærekraftig høstingsnivå, det motsatte av dette vil være utarming eller utrydding av en art" (Ariansen 1996).

Mål om bærekraftig utvikling er på mange måter en paradoksal utfordring. Økologiske terskler, hensynsfullt forbruk, rettferd og like muligheter for alle skal realiseres uten at det går på bekostning av robuste, effektive og fremtidsrettede intervensjoner eller global økonomi. Begrepet omfatter nåtidsverdier i relasjon til framtidverdier. Spørsmålene om hvordan vi i dag kan ta hensyn til kommende slekters, på mange vis, uforutsigbare behov, er ikke lett besvart.

Bærekraftig utvikling handler "fremfor alt om en prosess fra en tilstand mot en annen" (Butters 2004). I planleggingssammenheng bør også konseptet behandles som et dynamisk fenomen – i kontinuerlig kontakt med samfunnsendringer, nye tekniske løsninger og hverdagslivets behov. Det er ikke gitt at bærekraftige målsetninger leder til holdbare resultater. Opprettholdelsen av bærekraftige situasjoner avhenger av brukernes forståelse og dedikasjon overfor saken. Evaluering av løsningens bærekraftnivå kan

først vurderes ut fra hvordan denne fungerer i bruk og over tid. Butters (2004) utdyper helhetsperspektivets kompleksitet. Med en bærekraftig utforming skal sosiale, estetiske og kulturelle, økologiske og økonomiske forhold virke i samspill – en urbanisering hvor såkalte grønne, sosiale og kulturelle verdier inngår som likeverdige deler av et økonomisk sett levedyktig samfunn.

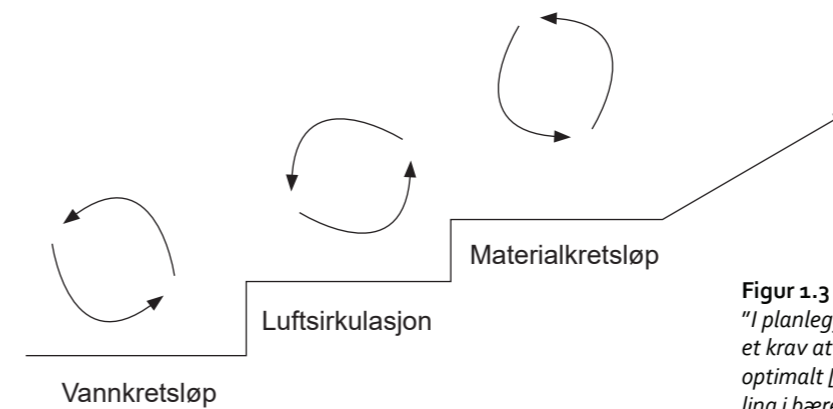
#### 1.1.1 Økosystemtilnærming

Begrepet økologi defineres som læren om interaksjoner mellom organismer og deres samspill med det abiotiske miljøet de omgis av. Økologisk respons er både et resultat av naturlige prosesser og menneskelig innvirkning. Moderne naturforvaltning beveger seg i retning av økosystembasert tilnærming som spiller på lag med de rammebetingelser som økosystemet setter. Eksempelvis lanseres den nye forvaltningsplanen for Barentshavet som en helhetlig, økosystembasert plan som bygger på en "arealbasert forvaltning, der aktiviteter og tiltak tilpasses områdenes egenskaper" (Miljøverndepartementet 2006). Her sees alle forhold i sammenheng med samarbeid som en fellesnevner: "Hvis alle nivåer og interesser skal ivaretas betyr det at ulike myndigheter, interessegrupper og fagområder må samarbeide" (Johansen & Sander 2006). Et annet forvaltningsseksempel er EUs vanddirektiv, hvor Norge deles inn i ni vannregioner ut fra nedbørsfeltenes omfang (Direktoratet for Naturforvaltning 2007). Felles for disse eksemplene er at både kartlegging og problemløsning gjøres uavhengig av kommune-, fylkes- og nasjonale grenser. Det er relevant å trekke tilnærmingen inn i planleggingsfaget og tale for en økosystembasert planlegging. Her likestilles menneskelig aktivitet som bygde elementer med de økologiske sammenhengene menneskene er en del av – og vice versa (jf Boks 1.3).

##### Boks 1.3

Noen prinsipper for økosystemtilnærming (Miljøverndepartementet 2004. Lov om bevaring av natur, landskap og biologisk mangfold. NOU 2004:28)

- Målsettingene for forvaltning av biologiske ressurser vil alltid være gjenstand for kulturelt baserte valg og prioriteringer i det aktuelle området.
- Et hovedmål i forvaltningen må være å bevare økosystemenes struktur og funksjon. De ulike habitater og arter må derfor bevares i sammenheng.
- Forvaltningen må være problemorientert og arbeide i en hensiktsmessig skala både i tid og i rom.
- Forvaltningen må være langsiktig og ta hensyn til forsinkede effekter.
- Forvaltningen må være dynamisk adaptiv og tilpasset til å møte fluktusjoner og økosystemendringer.
- Forvaltningen må skje innenfor økosystemenes økologisk funksjonelle rammer ("tålegrensene" må identifiseres og respekteres).
- Tradisjonell og lokal kunnskap skal integreres med vitenskapelige data som grunnlag for forvaltningen.
- Forvaltningen må involvere alle relevante interessegrupper, sektorer og disipliner i det aktuelle området.



Figur 1.3 – Kretsløpstrappen

"I planlegging for et mer bærekraftig samfunn er det et krav at material-, vann- og luftkretsløpet fungerer optimalt [...] Lukking av kretsløp kan bidra til en utvikling i bærekraftig retning. For hvert av kretsløpene som lukkes, høynes bærekraftnivået" (Nyhuus 2000.)

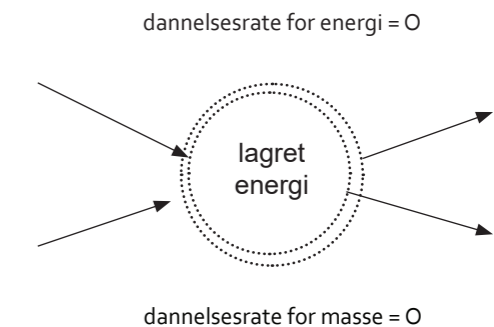
#### 1.1.2 Livssyklusligning

Materialstrømmene på jorda inngår i et lukket system. Tendensen har lenge vært at produksjon av varer og tjenester ikke har bygget på en fullverdig utnyttelse av naturressursene. Gjenvinning, resirkulering og det å gi avfall nye funksjoner representerer et spesielt stort potensial. Det samme gjelder naturens evne til nedbrytning og omsetning av grunnstoff som nitrogen, fosfor og karbon, som i langt større grad kan benyttes som mottiltak for forurensinger i vann og jord. Nyhuus (2000) hevder at analyser av stoffsykluser i naturen, såkalte kretsløpsanalyser, kan bidra til en mer effektiv miljøforvaltning (jf Figur 1.3).

Miljøsystemanalyser som livssyklusanalyser (LCA); life cycle costs (LCC), livsløpsplanlegging, -design, og -evaluering forbindes gjerne med Industriell økologi. Feltet omfatter studiet av lokal, regional og global bruk og flyt av materialer og energi i produkter, prosesser, økonomier – spesielt i den industrielle sektor. LCA knyttes også til konseptet cradle-to-cradle eller cradle-to-grave; alt etter hvor mange ledd i produksjonskjeden som inkluderes i analysen. Metoden bygger på prinsippet om massebalanse og termodynamikkens lover. Første lov går, svært forenklet, ut på at ingen substans kan ødelegges eller forsvinne (jf Figur 1.4). Innen livssyklusanalyser er det en utfordring å fordele material- og energistrømmer mellom ulike produksjonsprosesser på en rettferdig måte. Det at energi opptrer i mange former er med på å komplisere bildet. Nøkkelkonseptet er at energiflyt står i direkte relasjon til masseflyt når det kommer til forurensing og miljøproblemer (Baumann & Tillman 2004).

Med livsløpsvurderinger kan materialflyt og forurensende stoffer som følger av en produksjon kvantifiseres. Oversikt over miljøkonsekvenser, og muligheter for gjenvinning og resirkulering av materialer, stoff og energi gir oss et tydeligere bilde av vårt ressursforbruk. LCA gir en optimalisering av produksjonsprosessene – med mer effektive ekstraksjons- og produksjonsløsninger – og er svært nyttig ved implementering av et såkalt grønt design (Baumann & Tillman 2004).

Videre lesning: *The Hitch Hiker's Guide to LCA* (Baumann & Tillman 2004).



Figur 1.4 – Energi går inn og ut av et system

Systemgrensen kan utgjøres av en spesifikk teknologi, et økosystem eller et bestemt kontrollvolum (stiplet linje). Kjennskap til materialenes natur som friggitt og lagret energi letter forståelsen av hvordan lukking av kretsløp kan bidra i løsningen av mange miljøproblemer (Baumann & Tillman 2004.)

## 1.2 NATURBASERT RENSETEKNOLOGI – ECOSAN

Vannbåren kloakk og vannklosett, den såkalte *flushsan-praksisen*, er en kostbar og forurensende løsning på sanitære problemer (Rosemarin 2005). *Flushsan* er kun ressursmessig og økonomisk realiserbart for svært få mennesker. I dag mangler 38 prosent av verdens befolkning infrastruktur for drikkevann, toaletter og kloakk. Rensegraden ved en stor andel av innførte kloakksystemer er utilfredsstillende, noe som har svært negative konsekvenser for vassdrag, marine miljøer og menneskelig helse.

Vannklosettet representerer en høyt tiltrengt komfort og er et tegn på modernitet i den fattigste delen av befolkningen. Men her kan verken vannklosett eller kloakknett alene løse daglige problemer med bortføring av ekskrementer: *“En stor andel land i Afrika og Midtøsten er – i likhet med India og Kina – underlagt strenge vannrestriksjoner. Dermed er ideen om universell tilgang til adekvate sanitærfasiliteter dømt til å mislykkes [...] For å få til det minste framskritt på sanitærfrenten, må man fremme billigere, alternative teknologier som er enklere å installere og vedlikeholde enn de konvensjonelle vann- og kloakksystemene som finnes i den industrialiserte verden og de velstående bydelene”* (Black 2010).

Det som i nordisk faglitteratur omtales som økologisk, eller natur- og kretsløpsbasert avløpsrenseteknologi tilhører den internasjonale betegnelsen *Ecological Sanitation (Ecosan)*. Praksisens bærebjelke omfatter strategier for lokal og naturbasert forurensningskontroll basert på lukkede materialkretsløp – *closing the loop systems* (Langergraber & Muellegger 2004).

Ecosan-praksisen tar bærekraftmålene og prinsippene for helhetlig forvaltning på alvor. Virkemidler som ressursgjenvinning, resirkulering og småskala desentraliserte løsninger er det som skal til for å nå målet om en økonomisk og økologisk forsvarlig VA-håndtering. *“I global målestokk estimeres kostnadene for utbedring av helse- og miljømessige tiltak ved innføring av vannbårne system til å utgjøre 100 milliarder USD per år, frem til 2015”*. Igjen påpekes det altså at internasjonale strategier som FNs tusenårs mål (jf ordliste s. 6) umulig kan nås med konvensjonelle kloakksystemer som eneste løsning. Ecosan-paradigmet fremmes da som et fleksibelt og bærekraftig tilskudd (Rosemarin 2005).

Ecosan forbindes gjerne med miljø- og utviklingsstudier og *nord-sør-problematikken*. Langergraber & Muellegger (2004) mener allikevel at praksisen er like aktuell i industriland. Ulike utfordringer fordrer ulike løsninger. Mens helse og velferd er overordnede mål i de fattigste delene av verden, er en optimalisert ressurs håndtering som gir reduserte miljøbelastninger svært aktuelt der hvor systemer for velferd og infrastruktur er godt etablert. På globalt nivå foregår urbaniseringsprosessene med en ustoppelig rask utbredelse. I dag mangler ca halvparten av innbyggerne i urbane områder tilfredsstillende og økonomisk bæredyktige vann- og avløpsløsninger (VA-løsninger). Tilpasset VA-håndtering, i relasjon til fremvekst av megabyer i såkalte utviklingsland, bør være en sak verdenssamfunnet ikke forholder seg likegyldig til (Rosemarin 2005).

Innføring av ecosan-systemer skal gjennomføres på et akseptabelt prisnivå, og utvikles med stor grad av tilpasningsdyktighet til fremtidige samfunnsendringer. Sanitærløsningene skal være tilpasset kulturen den innføres i, og ha samme grad av komfort som tilbys med

konvensjonelle løsninger. Ecosan hevdes å innebære et paradigmeskifte innen håndteringen av sanitære utfordringer. Husholdningers vannforbruk og menneskelig avfall gjenkjennes her som nyttige ressurser som kan foredles og tilbakeføres i natursystemene og/eller industri. Skiftet innebærer at gjeldende syn på både menneskelig avfall og vannforbruk revurderes. Fokus på *holdningsendrende* strategier er derfor en forutsetning for å oppnå holdbare sanitærløsninger (Langergraber & Muellegger 2004; Rosemarin 2005).

Tilrettelegging for kretsløpsbaserte løsninger bryter nåværende lineære forhold mellom sektorer som avløps-håndtering og landbruk. Separering av avløpsvann, i større eller mindre omfang, gir økte muligheter for energigjenvinning, resirkulering av næringsstoffer og gjenbruk av vann. I denne sammenheng er det vanlig å dele avløpsvannet inn i kategoriene svartvann, brunvann, gulvann og gråvann, som separeres, samles opp, komposteres og brukes på nytt. Oppsamling og gjenbruk av regnvann faller også inn under ecosan-strategier. Når landbruket og/eller husholdningers forbruk inngår i et sirkulært samspill med øvrig avfall- og avløpshåndtering oppnås energi- og ressursbesparende løsninger. En slik tilrettelegging er nødvendig for å oppnå en holdbar samfunnsutvikling (Langergraber & Muellegger 2004; Rosemarin 2005).

Ecosan-praksisen skiller ikke skarpt mellom naturbaserte og konvensjonelle løsninger (Jenssen 1996). Her vurderes den enkelte teknologi som et middel for å nå målet om bærekraftig ressurs håndtering. Beslutninger om hensiktsmessig eller rett teknologi (*appropriate technology*) vurderes i lys av flere momenter. Det legges vekt på å utvikle metoder for ressurs- og avløpshåndteringen som inkluderer sosiale, kulturelle, helsemessige og samfunnsøkonomiske hensyn. Om løsningen er av lav- eller høyteknologisk art spiller også mindre rolle i den store sammenhengen. Det er altså ikke selve teknologien alene som bedrer situasjonen: *“These technologies are not ecological per se but only in relation to the observed environment. They are picked from the whole range of available conventional, modern and traditional technical options, combining them to EcoSan systems”* (Langergraber & Muellegger 2004).

Ecosan-praksisen virker forebyggende på forurensinger i naturen, gir redusert hygienisk risiko ved avløpshåndtering, bedrer jordsmonnet og bidrar til bevaring av knappe vannressurser. Samtidig bør det ligge et helhetlig perspektiv til grunn for slik planlegging. Endringsprosesser og innføring av ny teknologi bør være gjenstand for grundige samfunnsanalyser og miljøregnskap: *“in order for sanitation systems to work, all their components such as the natural environment, the society, the occurring processes and the device for defecation have to be considered together”* (Langergraber & Muellegger 2004). Ecosan-praksisens aktualitet i større urbane, velutviklede områder er omdiskutert. Diskusjoner rundt konseptet *hensiktsmessig* eller *rett teknologi*, og en kritisk holdning til hva, hvordan og hvorfor et gitt system bør innføres i en gitt kontekst, er uansett høyst relevant i planleggingsammenheng.

Videre lesning: *Ecosan curriculum* (Heeb et al. 2006) gir utfyllende innføring om tema; blant annet omtales sosio-kulturelle forhold til fekalier i relasjon til valg av renseløsninger og ulike praksiser.

### 1.2.1 Natur- og kretsløpsbasert forurensningskontroll

I den norske faglitteraturen trekkes det heller ikke et skarpt skille mellom konvensjonelle og naturbaserte rensemetoder. I dag bygges flere kombinerte systemer, og konvensjonelle metoder kan optimaliseres for økosystemtilnærming etter som *de fysiske, kjemiske og biologiske prosessene ofte er de samme* (Jenssen et al. 1992; Jenssen et al. 2006).

Natur- og kretsløpsbasert forurensningskontroll faller innenfor feltet *økoteknologi (ecological engineering; green technology; ecotechnology)*. Praksisen kan beskrives som en *syntese* mellom *økologi* og *teknologi*, hvor et av virkemidlene er utviklingen av konstruerte økosystem til gjensidig nytte for både mennesker og natur. Økologiske rensemetoder og konstruerte økosystemer legger til rette for en forsterkning og nyttegjøring av naturlige selvrengingsprosesser (Jenssen et al. 1992). Begrepet *økologisk renseteknologi* brukes om lavteknologiske løsninger for prosessering av avløpsvann via jord-, plante-, akvatiske- og/eller kildeseparerende rensemetoder og løsninger. *Naturbasert avløpsteknologi* brukes også for å beskrive rensemetoder basert på naturlige økologiske prosesser, med eller uten resirkulering av næringsstoffer til planteproduksjon (Jenssen et al. 1992; Jenssen et al. 2006). Naturbaserte anlegg utføres som regel som mindre desentraliserte system. Kildeseparering av avløp innebærer bruk av vannsparende toalettyper hvor avfallet ledes til en tett tank fra urinseparerende eller komposterende toalett-løsninger. Når toalettavfall, som inneholder mesteparten av forurensningene samles opp separat, kan næringsstoffer som nitrogen og fosfor gjenbrukes som jordforbedringsmiddel. Kildeseparerende metoder omtales som *kretsløpsbaserte løsninger* (Jenssen et al. 2000).

Landskapstilpassing skal vektlegges ved innføring av slike metoder. Eksempelvis brukes begrepet *rensepark* om renselanlegg hvor ulike landskapselement som terreng, bekker, dammer og våtmark er inkludert.

Økende folketall på verdensbasis, begrenset ressurstilgang og økende forurensningsproblemer er hovedargumentene for å satse på økologiske sanitærsystemer. Ettersom dette ofte dreier seg om mindre, lokal og desentralisert teknologi, hevdes det at omfattende ledningsnett kan unngås og at materialforbruk og infrastruktur, generelt sett, kan reduseres. Det samme gjelder forbruk av vann, energi og kjemikalier. Kildeseparerende løsninger gir dessuten bedre kontroll om slamproduktet. Når innsatsen av industrielle forurensinger fraskilles, økes også mulighetene for resirkulering og tilbakeføring av verdifulle næringsstoffer i jordbruket (Jenssen et al. 2000; Jenssen et al. 1992).

**Boks 1.4 – Svart, brun, gul, grå**  
**Svartvann** er avløpsvann fra toalett hvor urin og fekalier er blandet. Et mulig bruksområde er gjenvinning av næringsstoffer til energiformål.

**Brunvann** er avløpsvann fra toalett hvor urin og vann er fraskilt. Et mulig bruksområde er resirkulering av næringsstoffer til jordforbedring.

**Gulvann** er avløpsvann fra urinseparerende toalett. Mulig bruksområde er resirkulering av næringsstoffer til jordforbedring.

**Gråvann** er avløpsvann fra dusj, bad, vaskemaskin, oppvask, husvask – uten innhold av urin eller fekalier. Aktuelt for gjenbruk av vann.

### Boks 1.5 – Ecosan oppsummert

(Langergraber & Muellegger 2004)

- Ecosan-tiltak kan inngå som helseforebyggende løsning, og bidra til å minimere tilførsel av sykdomsfremkallende organismer fra avløpsvann til lokalt vannkretsløp.
- Ecosan-metoder bidrar til sikre og hygieniske løsninger for gjenbruk av plantenæringsstoffer som finnes i menneskelig avfall. Gjenbruk av næringsstoffer er et nyttig tilskudd til begrenset og langsomt fornybare næringskilder som fosfor (F).
- Ecosan-metoder har potensial til å optimalisere produktiviteten i jordbruket og derved øke matsikkerheten. Resirkulering av næringsstoffer er med på å bevare jordsmonnets dyrkbarhet, i tillegg motvirkes tap av næringsstoffer og organisk materiale som følge av erosjon og avrenning.
- Ecosan-systemer bidrar til bevaring av naturressurser ved å gi redusert vannforbruk og vannforurensning, og ved å være et naturlig alternativ til kunstgjødsel.
- Ecosan-systemer er fleksible fordi de er basert på modulbaserte småskala systemer hvor teknologien er utbyttbar/oppdaterbar. Det gir muligheter for kostnadseffektive prosjekter og behovsprøvd forvaltning.
- Ecosan oppsummeres som en helhetsorientert og flerfaglig praksis.

### Boks 1.6 – Kriterier for økologisk renseteknologi

(Jenssen et al. 1992)

Resirkulering av plantenæringsstoffer og organisk materiale

Minimale natur- og miljøskader ved etablering, drift og vedlikehold

Kildeseparering og behandling ved kilden

Bruk av naturlige selvrengingsprosesser

Bruk av fornybare energikilder

God landskapsmessig tilpassing

### 1.3 MILJØRETET FYSISK PLANLEGGING

De fleste etablerte landskapsarkitekter som jeg møter refererer til sin yrkespraksis som miljøvennlig. Og landskapsarkitektenes virksomhet bidrar, uten tvil, til å høyne kvaliteten i våre bygde omgivelser. Samtidig er det nødvendig å spørre om det er slik at landskapsarkitektenes innsats gir ubetinget positiv uttelling når det kommer til miljøspørsmål? I tillegg kan man spørre seg hvorfor det i 2010 er såpass få landskaps- og byggeprosjekter i Norge med en gjennomgripende miljø- eller bærekraftprofil? I det følgende utdypes noen sider ved integrerte designmetoder.

#### 1.3.1 Landskap og miljø

Begrepet *miljø* har mange betydninger. I landskapsanalyse vektlegges både miljøets *fysiske* og *visuelle* karakter. Førstnevnte omfatter naturgitte forhold som klimasone, naturtype, geologi og jordsmonn. *Landskapsbildet* karakteriserer stedets visuelle kvaliteter, som romlighet, landskapselementer og skalaforhold. Stedet kan også defineres av en spesiell *atmosfære* eller *stemning*. Prosessaspekter i samfunnet og/eller økologien har ikke vært vanlig å ta med i den tradisjonelle landskapsanalysen, som legger hovedvekten på landskapets fysiske og visuelle sider.

Miljø kan også knyttes til den sosiale sfære, og hvordan folk oppfatter og bruker sine omgivelser. *Den europeiske landskapskonvensjonen*, ratifisert i Norge i 2004, inkluderer både biologisk mangfold og bruk i sin definisjon av landskap. I kraft av å være selve utgangspunktet for både fysisk og mentalt miljø, er landskapet et sammensatt fenomen: *"Landskapet favner både kultur og natur. Det er personlig og inkluderende fordi vi alle skaper vår egen opplevelse av landskapet på grunnlag av bruk, minner, assosiasjoner og kunnskap. Det er disse personlige erfaringene som gir landskapet dets kulturelle og sosiale verdier, i tillegg til de miljømessige og økonomiske"* (Miljøverndepartementet 2008). Alt fra fjord og fjell til byer og bygder, bylandskap og naturlandskap, vakre landskap, hverdagslandskap og ødelagte landskap omfattes av konvensjonen (Miljøverndepartementet 2009).

Oppfattelsen av et sted eller landskap kan også relateres til skjøtsel og drift. Design som omfatter naturlige prosesser er nødvendigvis underlagt en utvikling som foregår over tid, og det endelige resultatet er gjerne uforutsigbart. Hager og parker har tradisjonelt vært anlagt etter strenge skjøtselkriterier hvor naturlig vekst skal holdes i sjakk. I tillegg er mye hagekunst basert på innføring av eksotiske planter som ikke er tilpasset stedlige forutsetninger. Konsept som kretsløpslandskap- og planlegging vil utfordre holdninger til hvordan steder designes og skjøttes.

#### 1.3.2 Integrert design

Mossop (2006) problematiserer den objektorienterte landskapsarkitekturen. Mossop hevder at profesjonen tradisjonelt sett har hatt en ensidig orientering om selve designet og visuelle aspekter ved det enkelte sted. Det har også vært mye fokus på konserverende planlegging, som bevaring av natur for å bøte på eller forbedre virkninger av en utbygging. Hun gir disse tendensene litt av skylden for at et integrert forhold mellom økologi og design – som på mange måter er landskapsarkitektenes anliggende – verken er tilstede i reell stedsutvikling eller i den akademiske debatten. Mossop knytter dette til det modernistiske verdensbildet

som setter mennesket opp mot naturen og derved befester et skarpt skille mellom menneskelig aktivitet og natursystemer. Hun knytter det også til landskapsarkitekturfagets tradisjonelle skille mellom *miljøvern* og *design*. Holdningen har ført til en romantisering av naturen; som et slags paradisi på jord, et sted for harmoni og velvære. I kontrast beskrives urbaniseringen gjerne negativt som et fremmedgjørende og forurensende maskineri. Ideen om at forholdet *natur/kultur* (urbanisering) inngår i et dynamisk forhold er ikke spesielt tydelig i moderne landskapsarkitektur. Design og estetikk i seg selv virker hittil å ha hatt forrang fremfor spørsmål om økologisk bærekraft (Mossop 2006).

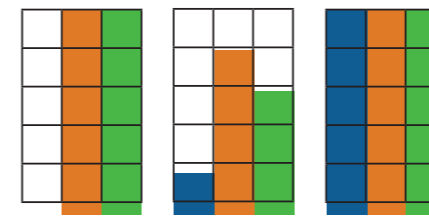
Pocock (2007) spør seg om yrkesgruppen tenderer mot *"en falsk trygghet i kraft av prosjektenes, bokstavelig talt, grønne karakter"*. Som landskapsarkitekt har Pocock lang erfaring med tettstedsutvikling i USA, Sørøst-Asia og Oseania. For å finne ut av prosjektenes reelle bærekraftnivå rettet han søkelyset mot miljøeffekten av eget arbeid. Et selv pålagt miljøregnskap for de siste fjorten års virksomhet avdekket blant annet at enkelte revegeteringsprosjekt først ville oppnå karbonnøytralitet ved innplantning av ca 100.000 trær, i tillegg til planlagte vegetasjon. Miljøkostnader for implementering og vedlikehold ga også negativt utslag i karbonregnskapet: *"Det er en fundamental ubalanse i landskapsarkitektenes ytelse – i kraft av at forgrønning ikke veier opp for øvrig materialbruk"* (Pocock 2007).

Thompson (2000), som også er landskapsarkitekt, intervjuet flere kollegaer om temaet landskapsarkitektur og miljø. Svarene ble oppsummert med hans modell for et *pluralistisk design*, hvor det skilles mellom uni-, bi- og trivalente strategier. Eksempelvis vil en fullverdig funksjonell estetikk først kunne oppnås når økologiske og sosiale hensyn ligger til grunn for utformingen (jf Figur 1.5). Thompson hevder at det er få eksempler på landskapsarkitektur som oppfyller et fullstendig trivalent design. Undersøkelsen viser at den sosiale dimensjonen oftest faller ut. Medvirkning, som kan være konfliktforebyggende på mange nivå, er gjerne forbundet med tidkrevende prosesser. Flere av de intervjuede mente at den sosiale dimensjonen kommer utenom deres kompetanse og/eller kapasitet (Thompson 2000). Butters (2004) hevder også at likeverdig samvirkning mellom *økologi*, *økonomi* og *samfunn* viser seg vanskelig i praksis: *"I Norge oppfattes bærekraft fortsatt som et teknisk spørsmål om arealeffektivitet, energibruk, avfall m.v."* For å gi begrepet mening – i praktisk forstand – bør materielle og kvantifiserbare faktorer virke i samspill med kvalitative aspekter (Butters 2004).

#### Boks 1.7 – Landskapsøkologi (Dramstad et al. 1996)

Innen landskapsøkologi oppfattes de fysiske omgivelsene som levende systemer som påvirkes av faktorene *struktur*, *funksjon* og *endring*:

- *Struktur* beskriver landskapselementenes romlige fordeling.
- *Funksjon* relateres til bevegelser i økosystemet: som bevegelsesmønstre hos dyr og mennesker, vann, vind, material- og energiflyt.
- *Endring* relateres til en innbyrdes dynamikk mellom strukturer og funksjoner over tid.



Figur 1.5 – Pluralistisk design

Venstre: *Bivalent design* med høy grad av brukermedvirkning (oransje) og miljøhensyn (grønn), men hvor prosjektets estetiske side er nedprioritert (tom kolonne.)

Midt: *Trivalent design* med høy grad av medvirkning (oransje), middels grad av miljøhensyn (grønn) og lav grad av estetikk (blå.)

Høyre: *Optimalt trivalent design* med gjennomgående høy grad av medvirkning, miljøhensyn og estetikk.

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 (basert på Thompson 2000. *Ecology, community, and delight: sources of values in landscape architecture.*)

#### 1.3.3 Landskapsurbanisme

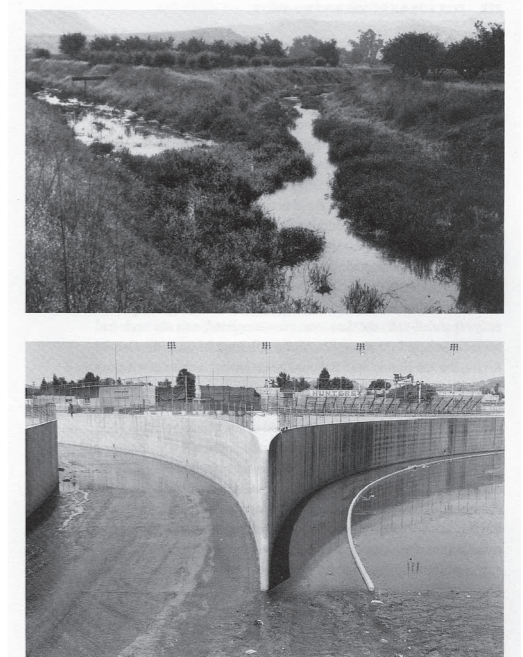
Corner (2006) mener at såkalte bærekraftige forslag, som går ut på å redusere effekter ved urbanisering gjennom en blind tro på at grønne tiltak løser alt, både er naive og lite konstruktive. Naive fordi naturens selvrensende egenskaper ikke lenger er i stand til å bryte ned graden av forurensinger som følge av moderne samfunnsutvikling. Like naiv er den romantiske ideen om at mennesker i kontakt med naturen vil handle med empati – både overfor medmennesker og jordkloden som sådan.

Natur, avfall, folk, teknologi og utvikling må sees i sammenheng. Samfunnsutviklingen går i retning av at menneskeskapt teknologi nå er nødvendig for å støtte opp under naturens balanse. Naturen må ha "hjelp". Prosesser knyttet til landskap og urbanisering, natur og kultur, bør ikke lenger sees som motsetninger.

Corner (2006) refererer til Los Angeleselven som eksempel. I dag fremstår "elven" eller kanalen som et rent ingeniørmessig svar på et alvorlige flom- og overvannsprøblem. Kanalen er designet for effektiv håndtering av store vannmengder og flomtopper. Utformingen reflekterer et syn på naturen som truende og voldsom – slik som naturen er. I Los Angeles har miljøforkjempere, landskapsarkitekter, og ulike NGOer lenge arbeidet for at kanalen skal transformeres til en grønn korridor med naturlig utforming. Den konstruerte betongkanalen anerkjennes ikke som et verdig landskapselement, til tross for at den oppfyller en landskapsfunksjon av hydrologisk og avbøtende art. Corner påpeker at naturlig utforming ikke trenger å være synonymt med å bringe landskapsmessige kvaliteter inn i byen, eller omvendt for å integrere byen i eksisterende natur. Han ønsker at skille mellom det naturlige, økologiske og det manipulerede, konstruerte, menneskeskapede landskapet *viskes ut*. Når dette skille brytes ned, åpnes rom for nye muligheter.

Tid- og prosessrelaterte faktorer – som bevegelse og akumulering av kapital (økonomiske kretsløp), globalisering (konsumvarekretsløp), klima- og miljø (naturens kretsløp) – har stor betydning for byutviklingen. Uten å utelukke tradisjonelle planleggingskriterier som bevaring, estetikk og romlig form i og for seg selv, påpeker Corner at

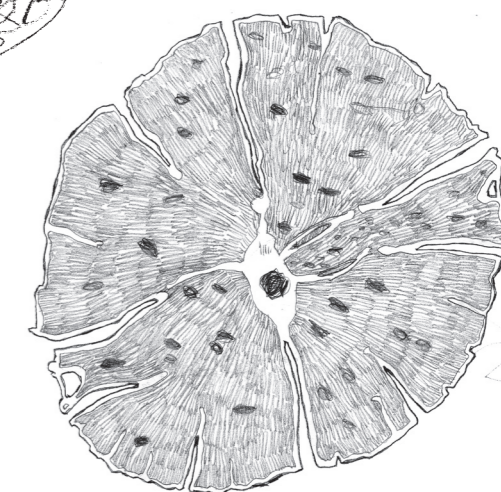
naturgrunnlaget, med sine sykliske prosesser sammen med sosiokulturell og økonomisk påvirkning, er minst like viktig. Framtidens byer må i større grad bygges på grunnlag av prosessforståelse, i tillegg til formale og estetiske kriterier. Dynamisk samspill i økologien kan fungere som en korrigerende linse for en organisk og mer fleksibel urbaniseringsmodell, såkalt *fluid urbanism*: *"Byene og deres nødvendige innslag av infrastruktur bør ikke sees som motpoler til naturen, men som like økologiske som skogene og elvene omkring. Framtidens byer og omgiver bør analyseres og utvikles ut i fra et integrert og helhetlig perspektiv"* (Corner 2006).



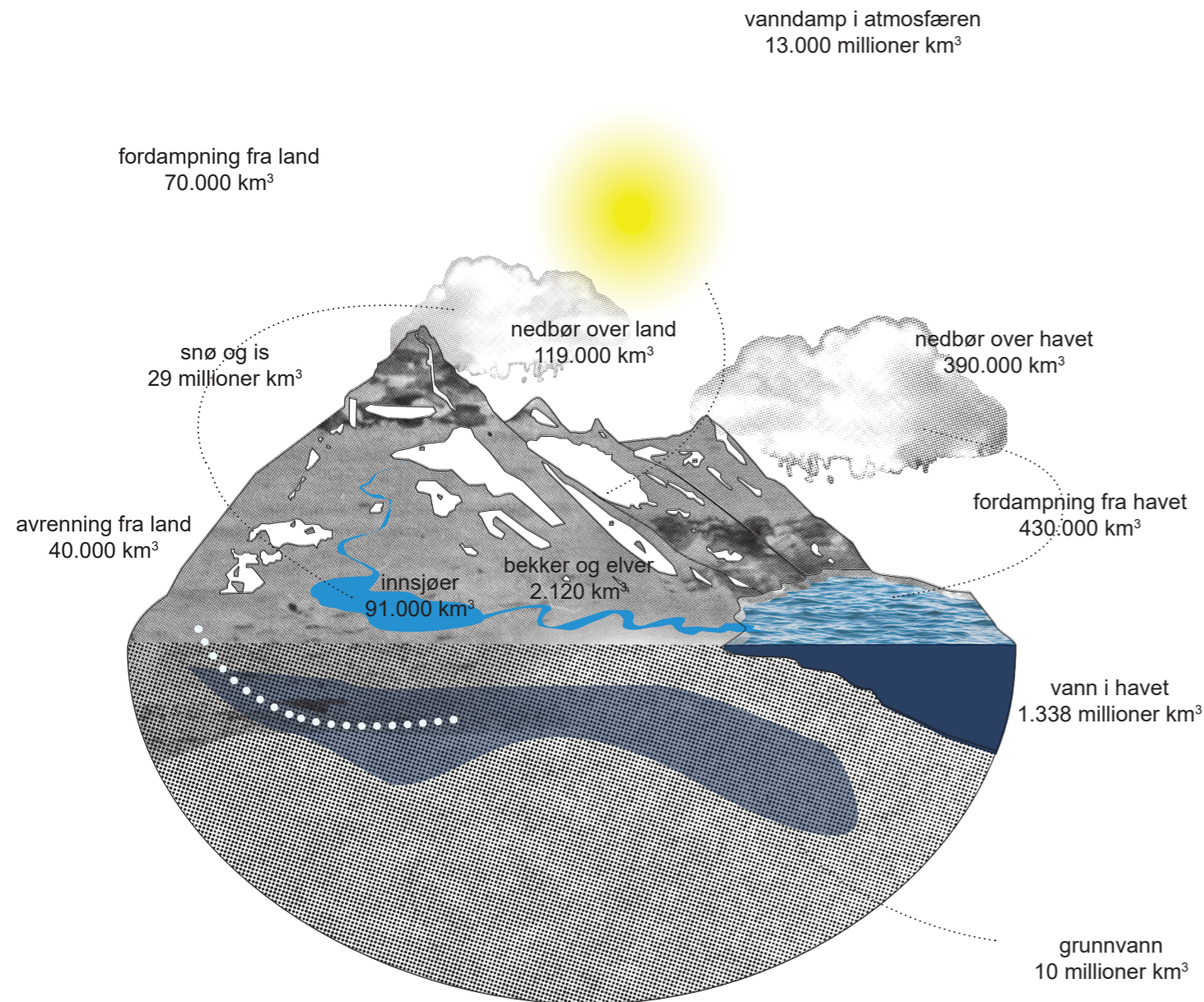
Figur 1.6 – Los Angeleselven før og nå  
Fra Price, J. (2008). *On the Banks of the L.A. river*.  
*Environmental History* Vol. 13 No. 3.  
[www.historycooperative.org](http://www.historycooperative.org) (lest 19.09.2010).



Nostoc (bakterie)



Micrasterias rotata (alge)



**Figur 2.1 – Det store vannkretsløpet**

Det er 1,3 billioner km<sup>3</sup> vann på kloden. Av dette er 97 prosent saltvann. Ferskvann som er bundet opp i snø og is er på 2,5 prosent. Vannet i innsjøer utgjør 0,009 prosent. I elver og atmosfæren er prosentandelen på 0,001, mens overflatenært grunnvann utgjør 0,3 prosent. Tilbake står en tilgjengelig ferskvannandel på 0,5 prosent. Hvordan prosentandelene brukes og forvaltes er naturligvis av stor betydning for menneskeheten.

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på *Facts and Trends: Water and Sustainable Development Program* (WBCSD 2006).

## 2 GRUNNLEGGENDE PROSESSER

I følgende avsnitt gis en kort innføring i hvordan grunnstoffene nitrogen, fosfor og karbon inngår i naturlige kretsløp. I tillegg beskrives jord som rensemedium og plantenes betydning i naturbaserte anlegg.

### 2.1 KRETSLØPENE

*Bio-geo-kjemiske kretsløp* omfatter grunnstoffenes kjemiske reaksjoner på sin vei gjennom atmosfæren, hydrosfæren, biosfæren, pedosfæren og litosfæren. Grunnstoffene karbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), oksygen (O), fosfor (P) og svovel (S) regnes for å være essensielle for alle livgivende prosesser. Grunnstoffene sirkulerer internt i økosystemene via luft, vann, jord, næringskjeder og fysisk transport. Forvitring, erosjon og transport via nedbørsfelt til havet bidrar til at overføringer også skjer mellom ulike økosystem (Botkin & Keller 2003).

Stoffenes evne til sirkulasjon avhenger av ulike reaksjonsegenskaper. Evnen til å danne gass eller ei er avgjørende for stoffenes oppholdstid i kretsløpet. Stoffe som resirkuleres i langsom takt utgjør ofte systemets begrensende faktor. Fosfor er et eksempel på et forholdsvis immobilt grunnstoff som også er en begrenset ressurs på verdensbasis. Samtidig er fosfor svært viktig for jordas matproduksjon (Botkin & Keller 2003).

Dagens åpne kretsløp medfører problemer som opphopning av avfall, luftforurensing og problemer med vannbalansen i tettbygde strøk. Kjemiske og biokjemiske reaksjoner, knyttet til fosforbinding og nitrogenomdanning i jord, har betydning for plassering og dimensjonering av infiltrasjonsanlegg (Jenssen et al. 2006).

#### 2.1.1 Vann

Det hydrologiske kretsløpet drives av solenergi og omfatter fordampning, nedbør, avrenning og magasinering av vann (jf Figur 2.1). Vann er en essensiell ressurs for mennesker, dyr og planter, men det globale vannbudsjettet er ikke jevnt fordelt. På verdensbasis er fordelingen slik at mindre enn ti land sitter på hele 60 prosent av jordas tilgjengelige ferskvannreserver. Norge tilhører en del av verden hvor mer enn 10.000 m<sup>3</sup> årlig fornybare vannressurser er tilgjengelig per person. Dette står i kontrast til India, hvor mengden årlig fornybart vann er mindre enn 500 m<sup>3</sup> per person (Fry 2006).

Store landskapsinngrep, som større demninger, påvirker mengde vann som fordampes til atmosfæren og kan derved være med på å endre nedbørsmønsteret i en landskapsregion. Flere asfalterte, ikke permeable, overflater øker også farten på vannets avrenning. En følge av dette er at den lokale grunnvannstilførselen reduseres. Ferskvannet på jorda er altså en sårbar ressurs. Sårbar i relasjon til befolkningsvekst og endret demografi, som følge av innflytting til byer og metropoler (Botkin & Keller 2003).

Rent drikkevann regnes også som en av verdens mest dyrebare ressurser. Et argument som går igjen i diskusjonen om naturbaserte avløpsløsninger er at det er ulogisk å bruke store mengder rent drikkevann for å skylle ned og transportere bort kloakk (Glennie 2008; Haldorsen 2008; Jenssen et al. 1992; Johansson & Johansson 2002; Rosemarin 2005; Ødegaard 2008).

Samtidig kan det spørres hvorfor vi skal spare vannressurser i Norge når disse er gitt i overflod?

For Norges del vil global oppvarming og klimaendringer medføre økt nedbør og endret nedbørs- og flommønster. Med hensyn til vann har vi nærmest et omvendt problem. Vi får for mye av det. Vannsparetiltak virker langt mindre prekært her enn det som er tilfelle i deler av Amerika, Afrika, Australia eller Kina. I tørkerammede deler av verden, hvor det ikke-fornybare grunnvannet er oppbrukt, kan verken penger eller teknologi rette opp skadene på kort sikt.

Norge er allikevel ikke fritatt fra lokaliteter med dårlig ferskvanntilgang eller forurensede vannkilder. I følge Ødegaard (2008) utgjør rensing av vann og avløpsvann ca 30 prosent av vannregningen i norske husstander. Resterende beløp går til rør og pumpeanlegg. Gjenbruk av vann vil redusere vedlikeholdsbehovet på det kommunale ledningsnett (Ødegaard 2008).

Han trekker frem Paris som et eksempel på en storby som går fra sentralisert til desentralisert VA-løsning. Byen hadde et tradisjonelt avløpsrenseanlegg for seks millioner mennesker. Ettersom anlegget er for kostbart og uhandterlig velges det nå å fordele VA-behandlingen til seks mindre anlegg. I dag er 85 prosent av verdens renseanlegg bygget etter samme lest som det gamle anlegget i Paris (Ødegaard 2008).

På verdensbasis er det ikke snakk om en generell vannmangel. Vannproblemet er snarere knyttet til økt urbanisering og vannforbruk. I mange sterkt utbygde områder er det for lite ferskvann til å dekke endret behov. Haldorsen (2008) fremhever to poeng som taler for en mer fornuftig vannhåndtering i Norge. Det ene knyttes til energiforbruk, det andre til infrastruktur og arealinngrep. I dag er det vanlig å legge vannreservoarene i nærheten av bebyggelsen. Eventuelle utvidelser som følge av befolkningsøkning kan medføre større arealinngrep som kan gå på bekostning av rekreasjonsområder.

I Østmarka har for eksempel rekreasjonsmuligheter blitt begrenset, og vassdrag og økosystem tilknyttet vann er endret på grunn av økt vannforbruk. I tillegg vil nye krav, som EUs vanddirektiv, føre til at enkelte drikkevannsforkomster ikke får ny godkjenning. Følgen er at vannet må renses ved nye metoder. Innføring av vannsparende tiltak som vannfrie toalett og lokal overvannsdiskonering (LOD) er nødvendig i moderne forvaltning og planlegging. Vannsparende løsninger gir redusert belastning på kommunale avløpsnett. For mye vann i systemet skaper, generelt sett, større driftsutfordringer. Mindre vann i systemet er økonomisk lønnsomt (Haldorsen 2008).

Tabell 2.1 – Toalettyper og vannforbruk

Toalettype	Vann per besøk i liter
Tradisjonelt toalett	6-20
Moderne vannsparende toalett	2-4
Komposterende toalett med og uten urinseparasjon	0-0,1
Urinsortierende	0,1-4
Vacuum	0,5-1,5
Tørr urinal	0

Av totalt vannforbruk i Norge går ca 30-40 prosent til toalettspyling, og rent vann kan spares med mindre ressurskrevende toalett. Lekkasje i røret som fører kloakk frem til sentraliserte renselanlegg forårsaker forurensing av overflatevann og grunnvannsforkomster. Konservering og gjenbruk av vannressurser er et svært aktuelt planleggingskriterium.

Tekst og tabell er basert på Magnus et al. (2005). *Krets-løpsbaserte avløpsløsninger for Hausmaniakvartalet i Oslo*. IMT notat 8. april 2005.

### 2.1.2 Nitrogen

"Nitrogenkretsløpet viser hvordan nitrogenet sirkulerer fra jord til luft og tilbake igjen via planter, dyr og mikroorganismer" (Skøien 1990). Nitrogensyklusen drives av biologiske prosesser. I tillegg kommer industrielle prosesser som tilvirking av kunstgjødsel. Biler drevet på fossilt brensel tilfører nitrogen i atmosfæren som nitrogenoksid ( $\text{NO}_x$ ), som tilbakeføres til jorden i form av partikler og sur nedbør (Skøien 1990).

Nitrogen i plantematerialet resirkuleres aldri fullstendig. Tap av nitrogen forekommer ved fastleggelse i jordmedier, som gasstap til luft og ved utvasking som følge av erosjon. Mesteparten av nitrogenet i jorden er bundet i humus. Ammonium bindes til kolloidene. Belgvekster fikserer nitrogen direkte fra luft ved at bakteriene Rhizobium, som lever i knoller på planterøttene, forbruker grunnstoffet i oppbyggingen av aminosyrer og protein. Nitrogenoverskuddet utnyttes av vertsplanten og noe lekker også ut gjennom planterøttene og tilfører nitrogen til nabovekster. Lignende nitrogenfiksering fra luft skjer hos enkelte lignoser (trearter), alger, bakterier og aktinomyceter. Mikroorganismer i jord samler også nitrogen. I følge Skøien (1990) er nitrogenfikseringen høyere i naturlige økosystem som våtmark og skog enn i åkerjord.

Mikrobiologisk virksomhet påvirkes av faktorer som temperatur, oksygenmengden i vann og jord, vanninnholdet og karbonforholdet i jord samt jordstruktur. Menneskelige inngrep påvirker stoffkretsløpene. Overskudd av nitrogen og fosfor forstyrrer balansen i de naturlige syklusene. Kommunalt avløp, landbruk, fiskeoppdrett og industri bidrar til dette (Skøien 1990).

### 2.1.3 Fosfor

I fosforsyklusen frigjøres grunnstoffet gjennom forvitring, det tas opp av planter og konsumeres av dyr og mennesker. Når ekskrementer, døde dyr og planterester dekomponeres går fosforet tilbake i jorda. Fosfor utgjør 1 prosent av levende biomasse og det er blant annet av betydning for fotosynteseprosessene (Grønland 2006).

Eneste naturlige kilden til fosfor er mineralet apatitt, og det blir tilgjengelig ved forholdsvis langsomme prosesser som forvitring. Disse forholdene bidrar til at det er svært lite fosfor i jordvannet. I jord bindes fosfor ved å reagere med jern, aluminium eller kalsium. Grunnstoffet ender da opp som tungløselige fosfater. Jordas pH påvirker her, og fosforbindingen er sterkest ved lav pH. Over tid bygges de tungløselige fosforforbindelsene inn i stadig mer utilgjengelige former. Ekstra tilførsel av fosfor som gjødsel i mat- og planteproduksjon er derfor nødvendig (Skøien 1990). Det naturlige fosforkretsløpet brytes som følge av jordbruksintensivering og urbanisering. Landbruksprodukter distribueres til urbane områder og næringsstoffet går ut av sin lokale syklus. Utvunnet fosfor brukes i kunstgjødsel og dyrefôr. Dette er med på å øke fosforinnholdet i dyrka mark. Store mengder fosfor går tapt som følge av erosjon og avrenning. Det er også vanlig at bøndene gjødsler mer enn nødvendig for å sikre avlingen. I noen tilfeller tas bare halvparten av fosfortilførselen opp i avlingen. I følge Grønland (2006) er det ikke uvanlig at fosforholdig mineralgjødsel inngår i jordbruket, selv om gården er selvforsynt med næringsstoffet gjennom husdyrhold. Resultatet av dette er at det opprinnelige lukkede kretsløpet er "erstattet av en

ensidig gjennomstrømming, fra utvinning av fosforholdige mineralforekomster til en anrikning i jord, deponier og vann" (Grønland 2006).

Til tross for at jordskorpen, totalt sett, inneholder ca 0,1 prosent fosfor, regnes dette grunnstoffet som en ikke-fornybar ressurs. Med en utvinning som øker i takt med verdens matbehov estimeres det at fosforreservene vil brukes opp i løpet av 100 år. "I motsetning til energi, hvor det finnes flere alternative former, fins det ingen alternativer til fosfor som livsnødvendig næringsstoff" (Grønland 2006). Produksjonen av høykvalitets mineralisk fosfat antas å nå toppen i 2033 (Cordell et al. 2009). Etter dette vil etterspørselen etter fosforgjødsel overstige tilbudet, noe som kan få alvorlige konsekvenser for den globale matproduksjonen. Om vi skal unngå fremtidige hungerskatastrofer, er det viktig å ta vare på og resirkulere fosfor.

Organisk avfall i avløpssvann, husholdningsavfall og slakteriavfall er potensielle fosforkilder. Også avløpsslam fra konvensjonelle renselanlegg inneholder mye fosfor. Ulempen er at fosforet bindes sterkt til fellingskjemikaliene som benyttes for å rense avfallet. Næringsstoffet blir derved planteutilgjengelig. For å gjøre avløpsslam, mat- og slakteavfall egnet for gjenbruk på åkeren, kan avfallet behandles med aerobe prosesser som våtkompostering. Anaerobe prosesser som både produserer biogass og gjødsel er også aktuelle (Jenssen et al. 2003). Fosforet ender da opp som biologisk prosessavfall, som er godt egnet til jordforbedring.

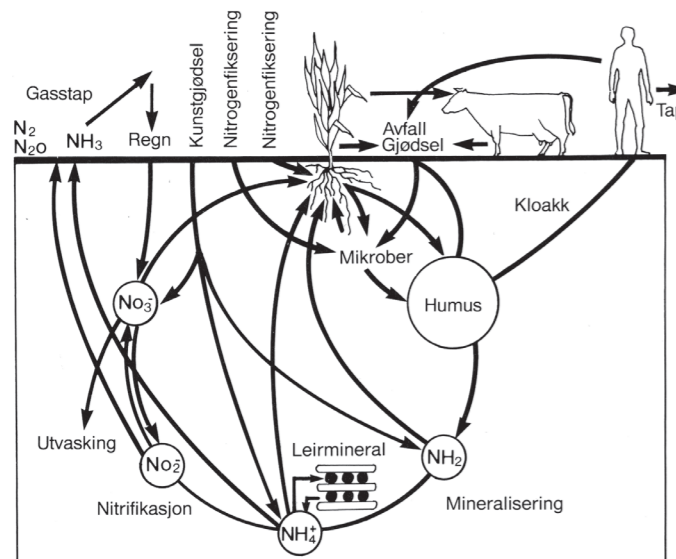
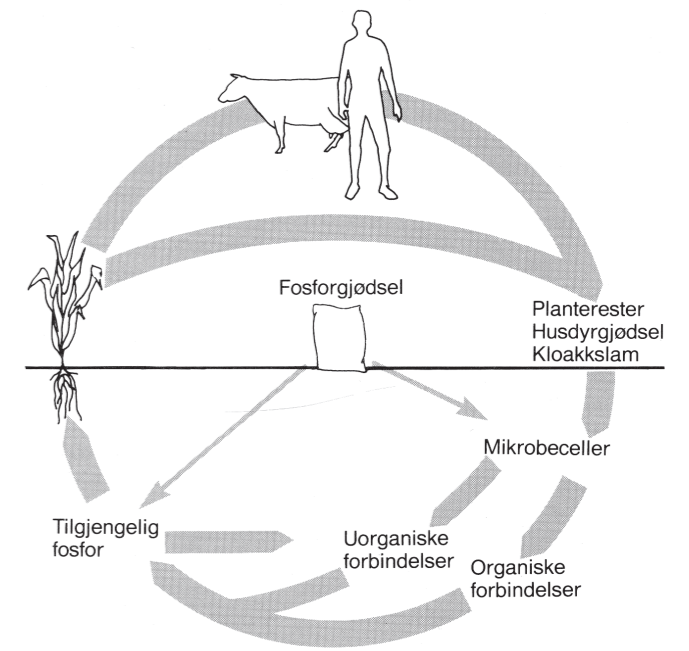
Kretsløps- og ressursdiskusjonen er fraværende i norsk miljøpolitikk. Det er paradoksalt at avfall som tidligere ble sirkulert i næringskjeden kun sees som et problem. Spesielt når en optimalisert avfall- og ressurshåndtering er av betydning for verdens matvareforsyning (Grønland 2006).

### 2.1.4 Karbon

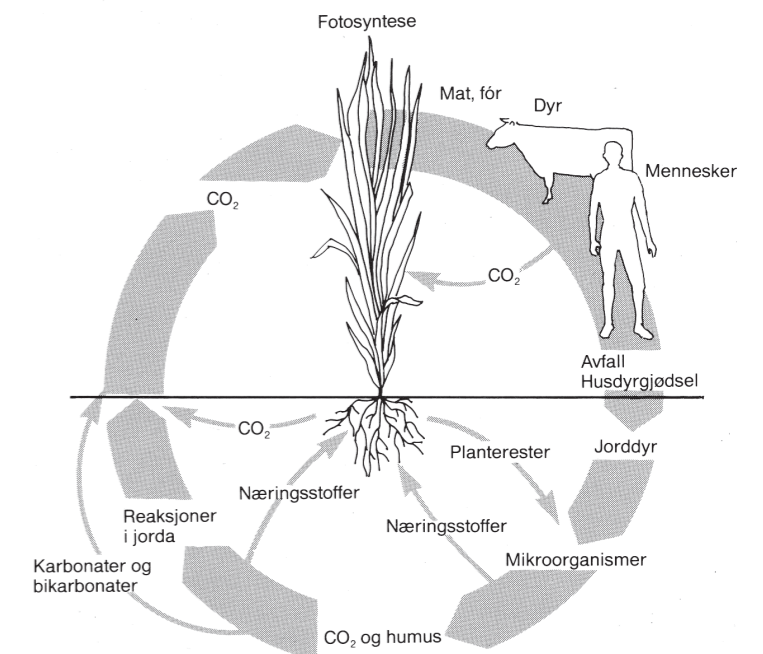
Vann og luft er kilden til grunnstoffene nitrogen, oksygen, hydrogen og karbon. Karbon utgjør mer enn 40 prosent av tørrstoffet i planter. Alle organiske forbindelser inneholder oksygen, hydrogen og karbon i form av hydrokarboner. Forholdet mellom karbon/fosfor og karbon/nitrogen, henholdsvis C/N- og C/P-forholdet, er avgjørende for om grunnstoffene frigjøres eller immobiliseres via mikrobielle prosesser i jord (Skøien 1990). En rekke materialer som trevirke, syntetiske produkter og plast samt energibærere som sukker og hydrokarboner, er karbonbasert (Lygre 2008).

Store mengder karbon er bundet i karbonatbergarter som bikarbonat i havet og som  $\text{CO}_2$  i atmosfæren. Produsert organisk materiale sedimenteres og begraves på land og i sjø gjennom svært langsomme prosesser. Produsert biomasse inngår i komplekse næringskjeder med menneskene på toppen (Lygre 2008).

"Mengden  $\text{CO}_2$  tilført atmosfæren fra planter, dyr, land og hav var i tidligere tider den samme som den som blir tatt ut gjennom fotosyntese og lagring". Menneskeskapte utslipp, fra førindustriell tid og frem til i dag, har bidratt til en økning av  $\text{CO}_2$ -konsentrasjon i atmosfæren på 36 prosent, og dagens  $\text{CO}_2$ -konsentrasjon er den høyeste på minst 650.000 år (Statens forurensningstilsyn 2007).



Illustrasjon: Anne Langdalen, s. 47 i *Jordkultur* (Skøien 1990).



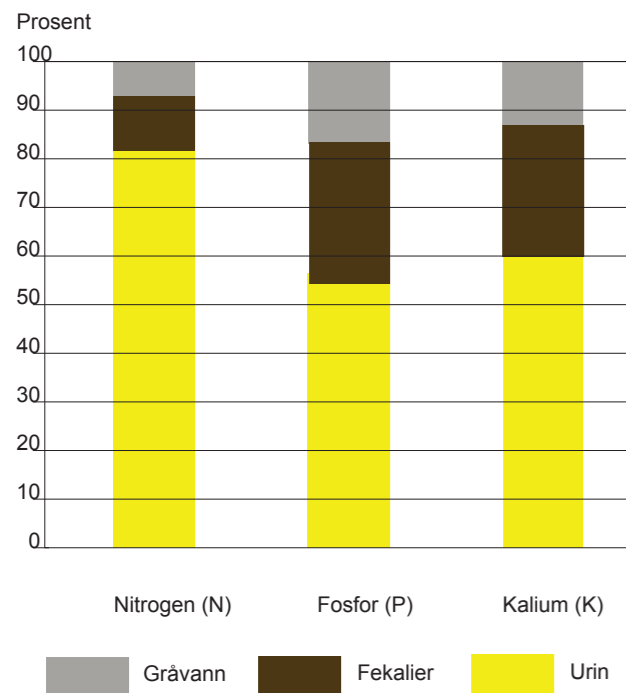
Illustrasjoner: Anne Langdalen, s. 50 og 26 i Skøien (1990).

## 2.2 Næringsstoffer

**Figur 2.2 — Gult gull**  
Hver nordmann genererer ca 4,5 kg nitrogen, 0,6 kg fosfor og 35 kg organisk materiale per år. For nitrogen og fosfor tilsvarer dette 15 prosent av kunstgjødselbruken. Næringsstoffene i avløpsvannet ble i 1991 anslått til å ha en kommersiell verdi på ca 200 millioner NOK.

Foto: Elin T. Sørensen 2008 til *Returlandskap*, landskapsarkitektstudentenes avgangsutstilling, Galleri ROM 11. - 27. april 2008. Kilde tekst: Holtan & Åstebøl (1990) og Jenssen & Vatn (1991) sitert i Magnus et al. (2005).





## 2.2 NÆRINGSSTOFFER

I følge SFT (1996) slipper hver person ut ca 1,6 gram fosfor og 13 gram nitrogen daglig (Jenssen et al. 2006). Tabell 2.2 viser forhold som er interessante fra et ressursynspunkt. Hovedvekten av næringsstoffene, det vil si 75-90 prosent av nitrogenet, fosforet og kaliumet, finnes i urin og fekalier, mens av den totale mengde avløpsvann utgjør urin og fekalier kun 1 prosent (Johansson & Johansson 2002).

I litteraturen som omtaler naturbaserte og økologiske avløpssystemer henvises det til at disse næringsfraksjonene bør kunne separeres ut for en mer fornuftig ressursutnyttelse. Avløpsvann fortynnes av transportvann, som ofte har utspring i drikkevann, og overvann som kommer inn i systemet som følge av lekkasjer. Avvanning og prosessering av avløpsvann for å oppnå et konsentrert slamprodukt er energikrevende. I tillegg kan slam fra blandet avløpsvann inneholde tungmetaller og annen forurensning som gjør det uegnet for jordforbedringsformål. Separering ved kilden regnes derfor for å være fornuftig både fra et energi- og miljøperspektiv (Jenssen et al. 2006; Johansson & Johansson 2002; Langergraber & Muellegger 2004; Rosemarin 2005; Stottmeister et al. 2003).

Mesteparten av smittestoffene i avløpsvannet, som bakterier, virus og eventuelle parasitter, er til stede i fekalier. I urin er det lite smittestoffer, så fremt innblanding av fekalier kan unngås. Det samme gjelder gråvann som stammer fra kroppsvask, oppvask- og vaskemaskin. Årsaker til fekalier i gråvannet kan, blant annet, være spor fra bleievask (Johansson & Johansson 2002). Forfatterne nevner flere metoder for eliminering av smittestoffer. De likestiller smittestoffene med partikler som kan sedimenteres eller filtreres bort. Biologiske prosesser i jord bidrar også til at "smittämnen äts upp eller konkurreras ut av andra mikroorganismer" (Johansson & Johansson 2002). Det understrekes at hygienisk risiko ved håndtering av avløpsvann må elimineres ved at urin og fekalier etterlagres, komposteres

Tabell 2.2 – Innhold av næringsstoffer i avløpsvann

Urin inneholder ca 80 prosent nitrogen, 50 prosent fosfor og 60 prosent kalium (Jönsson 2001).

Mesteparten av nitrogenet og fosforet finnes i urin, eller gulvann, som kun utgjør 1 prosent av den totale avløpsmengden fra en person. Brunvann (den faste avføringen eller fekalierne) inneholder størsteparten av det organiske materialet samt sykdomsfremkallende mikroorganismer. Gråvann (vann fra bad, oppvask og vask) inneholder ca halvparten av det organiske materialet samt bakterier fra kroppsvask og bleievask, men lite nitrogen og fosfor (Magnus et al. 2005).

Hos en frisk person hvor næringsbalansene er i likevekt, utskilles næringsstoffer som er tatt opp av planter via urin og ekskrementer. Avløpsvannet reflekterer derved husholdningens kosthold og materialforbruk. Det er vesentlige forskjeller mellom fraksjonene gul-, grå- og brunvann. I tillegg til avfallsstoffer inneholder brunvann store mengder dopapir, mens vann utgjør størsteparten av urinvolumet (Vinnerås 2002).

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på Jönsson et al. (1999). Wasser & BOFen 51:1999. Kilder tekst: Magnus et al. (2005); Vinnerås (2002). PhD Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Uppsala 2002; Jönsson (2001). EcoEng Newsletter, October 2001.

og hygieniseres før emnene kan gjenbrukes. Hygienisering innebærer en reduksjon av smittestoffer som bakterier, parasitter og virus (Heeb et al. 2006; Jenssen et al. 2006; Johansson & Johansson 2002; Paruch et al. 2005).

Når det gjelder tungmetaller og andre forurensninger står dette i sammenheng med forbruksmønstre og det som slippes ut i systemene. Forurensninger er naturlig nok vesentlig mindre fra vanlige husholdninger enn fra tungindustri eller sykehus hvor medisiner er i omløp. Samtidig kan kvikksølv fra amalgam, kadmium fra sigaretter, tungmetaller fra mat og organiske miljøgifter i rengjøringsmiddel forekomme i husholdningsavfall og avløp. Økt bevisstgjøring om dette gjennom folkeopplysningskampanjer er et mulig mottiltak (Johansson & Johansson 2002).

Urin inneholder ca halvparten av fosforet i avløpsvann, mens ca en fjerdedel stammer fra fekalier og gråvann (jf Tabell 2.2). Siden det er forbud mot fosfat i vaskemiddel i Norge er det svært lite fosfor i gråvannet. Ved kildeseparering som innebærer at gråvann skilles fra urin og fekalier, kan fosfor bevares som ressurs.

Urin inneholder ca 80 prosent nitrogen, mens fekalier og gråvann inneholder hver ca 10 prosent. Nitrogen på avveie bidrar til overgjødsling i resipienten (Johansson & Johansson 2002). Nitrogenet i avløpsvannet har opphav i proteinrike matvarer, og nitrogeninnholdet varierer etter type diett. Mesteparten av nitrogenet utskilles i urin i form av urea. I naturbaserte renseanlegg er det i dag vanlig å installere slamavskiller for forbehandling av avløpsvann. Her omdannes mellom 70-90 prosent av nitrogenforbindelsene til ammonium.

Nitrifikasjon og denitrifikasjon er de viktigste kjemiske reaksjonene knyttet til nitrogenfjerning i jord (Jenssen et al. 2006). Urinseparering ved kilden gir ytterligere mulighet for gjenbruk av nitrogen som ressurs (jf Figur 2.3). Johansson & Johansson (2002) henviser til problemet med at mye av

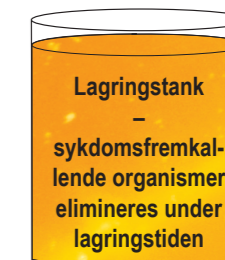
nitrogenet fordamper til luften når det spres ut på jord. De påpeker at det ikke bør gå med mer energi til fiksering av nitrogen fra luften for å gjøre den plantetilgjengelig, enn i industriell kunstgjødsel fremstilling.

Ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) UMB er det forsket på utnyttelse av næringsstoffer i flytende husdyrgjødsel som kan injiseres i jord. Forsøk viser at denne metoden reduserer tap av ammoniakk gass til atmosfæren med 10-30 prosent, sammenliknet med 50-100 prosent ved tradisjonell spredning oppå bakken. "Jordmonnet må imidlertid være aerobt for å unngå dannelse av lystgass, så injiseringen må skje på tørr jord. Gjødseleinjiseringsen kan skje etter at gress eller korn har vokst ca. 5 - 10 cm, slik at gjødselelsen blir utnyttet maksimalt. I Nederland er slik injisering av våt gjødsel i jorda svært utbredt, og danske myndigheter har lagt til rette for slik spredning fra 2003" (Nedland 2005).

Jönsson (2001) hevder at miljøeffekten av urinseparering er undersøkt i en rekke studier: "They have all concluded that compared to a conventional sewage system, urine separation will recycle much more plant nutrients, especially nitrogen, and will have lower water emissions of nutrients. Generally, urine separation has also been found to save energy. Urine separation has in all studies been found preferable to the conventional system from an environmental point of view" (Jönsson 2001).



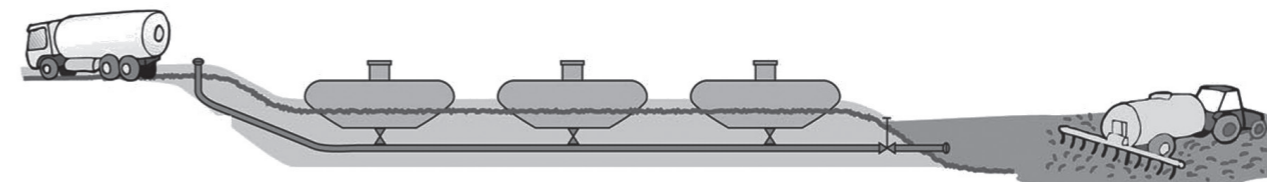
urin fra mennesker har pH 5 - 7 Nitrogen 5 - 10 kg/m<sup>3</sup> Fosfor 0,4 - 0,9 kg/m<sup>3</sup>



omdanning av urea til ammonium gir økt pH 8,8 - 9,2 fortynning av urin gir lavere innhold av N (2 - 4 kg/m<sup>3</sup>) og P (0,2 - 0,4 kg/m<sup>3</sup>)



pH 8,8 - 9,2 Nitrogen 2 - 4 kg/m<sup>3</sup> Fosfor 0,2 - 0,4 kg/m<sup>3</sup>



Figur 2.3 – Håndteringskjeden for urin i kretsløpsbaserte system  
Gjødselvirkingen av nitrogen utvunnet fra urin, til korndyrking, er tilnærmet lik effekten av kunstgjødsel (90 prosent). Det er heller ikke funnet forskjell i gjødselvirking mellom kunstgjødsel og fosfor utvunnet fra avløpsvann [...] Dette gjør kildesorteringe løsninger som urinseparerende toalett til et aktuelt alternativ [...] Fraskilt urin føres i rørledning til oppsamlingstanker hvor den hygieniseres før den nyttes som gjødsel i jordbruket.

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på Johansson & Gutekunst. Urine Separation. Figurer 6. og 10. i Heeb et al. (2006). EcoSan Curriculum. Module 3. Closing the Nutrient Cycle. Kilde tekst: Jönsson (2001).

### 2.2.1 Gjenbruk av avløpsslam

Nitrogen, fosfor og kalium (N, P, K) er hovednæringsstoffene i planteproduksjon. NPK utgjør også hovedbestanddelen i kjemisk fremstilt gjødsel. I følge Jenssen & Vatn (1991) kan 20 prosent av dagens kunstgjødsel forbruk erstattes av næringsstoffer fra avløp og husholdningsavfall.

I Norge kan menneskeurin erstatte 107 millioner kilo nitrogen fra handelsgjødsel (Greatorex et al. 2003). Utvikling av kildesorteringer og tilhørende hente- og fordelingsrutiner er sentralt ved innføring av kretsloppsbaserte avfallshåndteringssystemer.

Målet med programmet ORIO: *Organiske restprodukter ressurser i omløp* (Landbruks- og matdepartementet 2000-2005) var bærekraftig utnyttelse av ressursene i våtorganisk avfall og slam, inklusiv hensyn til miljø og helse for mennesker, dyr og planter (Nedland 2005).

Forskningsresultater viser at det er stor variasjon i plantenes vekstrespons i forhold til ulike typer av slam og kompost. "Forskjellene i respons kan i stor grad tilskrives ulikheter i egenskapene til produktene, spesielt næringsinnhold, pH og innhold av kalk og organisk materiale" (Nedland 2005). Avløpsslam har en rekke mulige bruksområder: Som foredlet produkt kan slammet brukes til jordforbedringsmiddel i vekstjord, eksempelvis til å fremelske vegetasjon på ledningstraseer og i veganlegg. Videre kan slam nyttes i skogbruk, til å dekke landskapssår og som råvare eller energikilde.

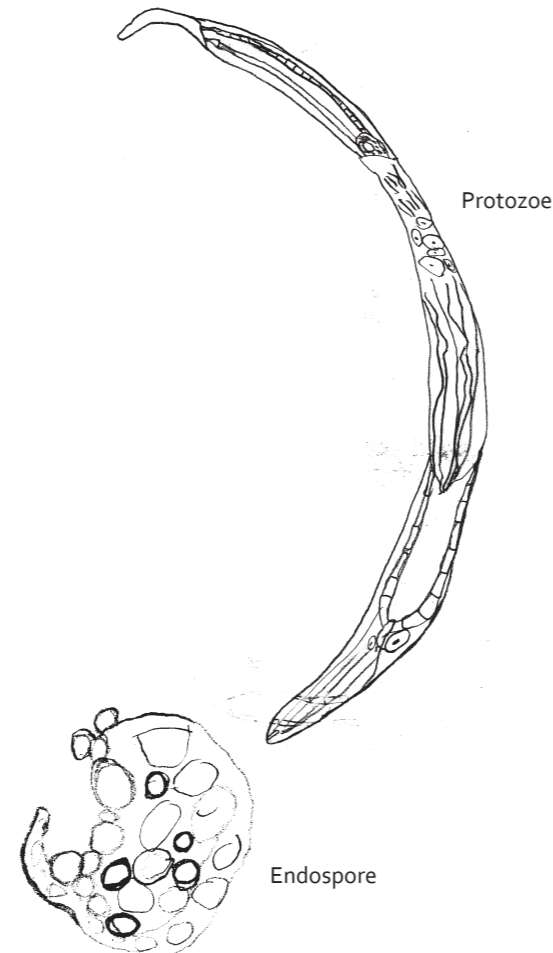
Nedland (2005) hevder at dagens norske regelverk, som Gjødselvereforskriften med oppfølging fra Mattilsynet, legger bedre til rette for bruk av avløpsslam som ressurs. I dag brukes over halvparten av slammet i jordbruket. Bortsett fra steder hvor det er mye husdyrgjødsel eller lite kornarealer, er etterspørselen blant kornbønderne relativt stor. Bruk av avløpsslam på grøntarealer har også økt de siste årene. Ettersom det er billigere å levere slam til grøntanlegg forventes denne bruken å øke ytterligere.

På Østlandet er det innarbeidet effektive rutiner for gjenbruk av slam i jordbruket. De fleste slambehandlingsanleggene har til og med flere års ventelister på levering av restprodukter. I Norge er behovet for bedre kontakt mellom anleggseiere og jordbrukssektoren størst i utkantstrøk på Vestlandet og i Nord-Norge. I disse områdene har gode sjøresipienter medført mindre behov for rensing av avløpsvann og slambehandling. Det er imidlertid enkelte faktorer som også hindrer gjenbruk av avløpsslam i jordbruket. Den norske Gjødselvereforskriften setter forbud mot å bruke slam i eng eller på arealer der det dyrkes grønnsaker, poteter, bær eller frukt (Nedland 2005). I henhold til EU-regelverk er næringsstoffer fra urin og fekalier ikke godkjent som gjødsel i økologisk landbruk. Temaet er til en viss grad tabubelagt, og i Sverige har bruk av avløpsslam i landbruket medført kontrovers (Johansson & Johansson 2002). Dette skyldes til dels usikkerhet rundt framtidige effekter av akkumulering av organiske miljøgifter og tungmetaller fra slam i landbruksjord. For å gi forbrukerne en større trygghet bør dette utredes nærmere.

Riktig etterbehandling og kompostering av slamprodukt gir et hygienisert, luktfritt og jordlikenende substrat. Hygienisert avløpsslam inneholder imidlertid lite nitrogen. I tillegg er fosforet lite plantetilgjengelig hvis det er brukt jern eller aluminiumbaserte fellingskjemikalier. Med tanke på resirkulering av fosfor til planteproduksjon mener

Krogstad et al. (2005) at kalkfelt slam eller slam fra biologisk fosforrensing mye bedre egnet. Nedland (2005) påpeker at informasjons- og holdningskampanjer til aktuelle brukere av avløpsslam er nødvendige virkemiddel for å oppnå målet om økt resirkulering og gjenvinning.

For mer informasjon se Enzensberger & Hovind (2005) *Bruerveiledning for kompost og slam i grøntanlegg* utgitt av FAGUS, og Nedland (2005) *Statusrapport for bruk av avløpsslam – endringer siden år 2000*, Orio Rapport nr. 05-029.

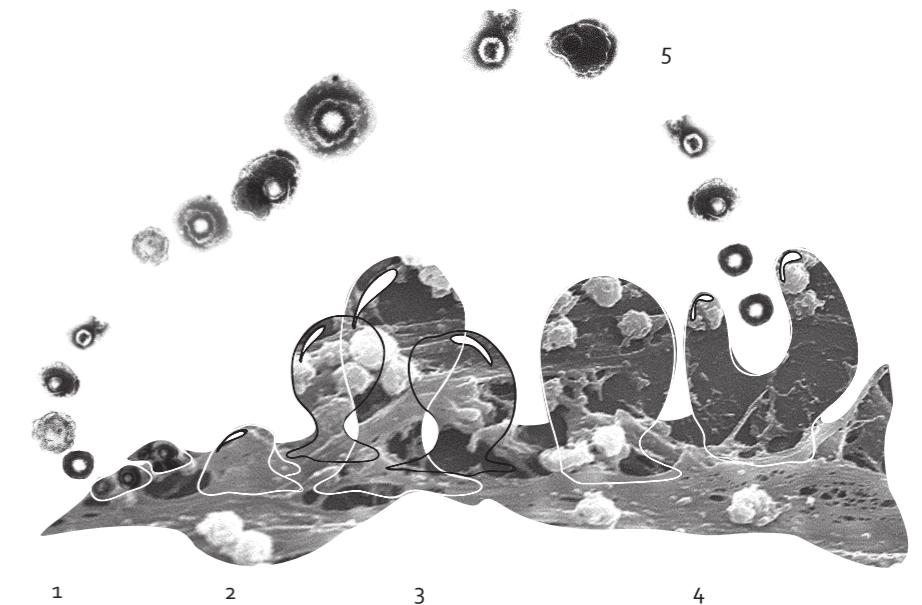
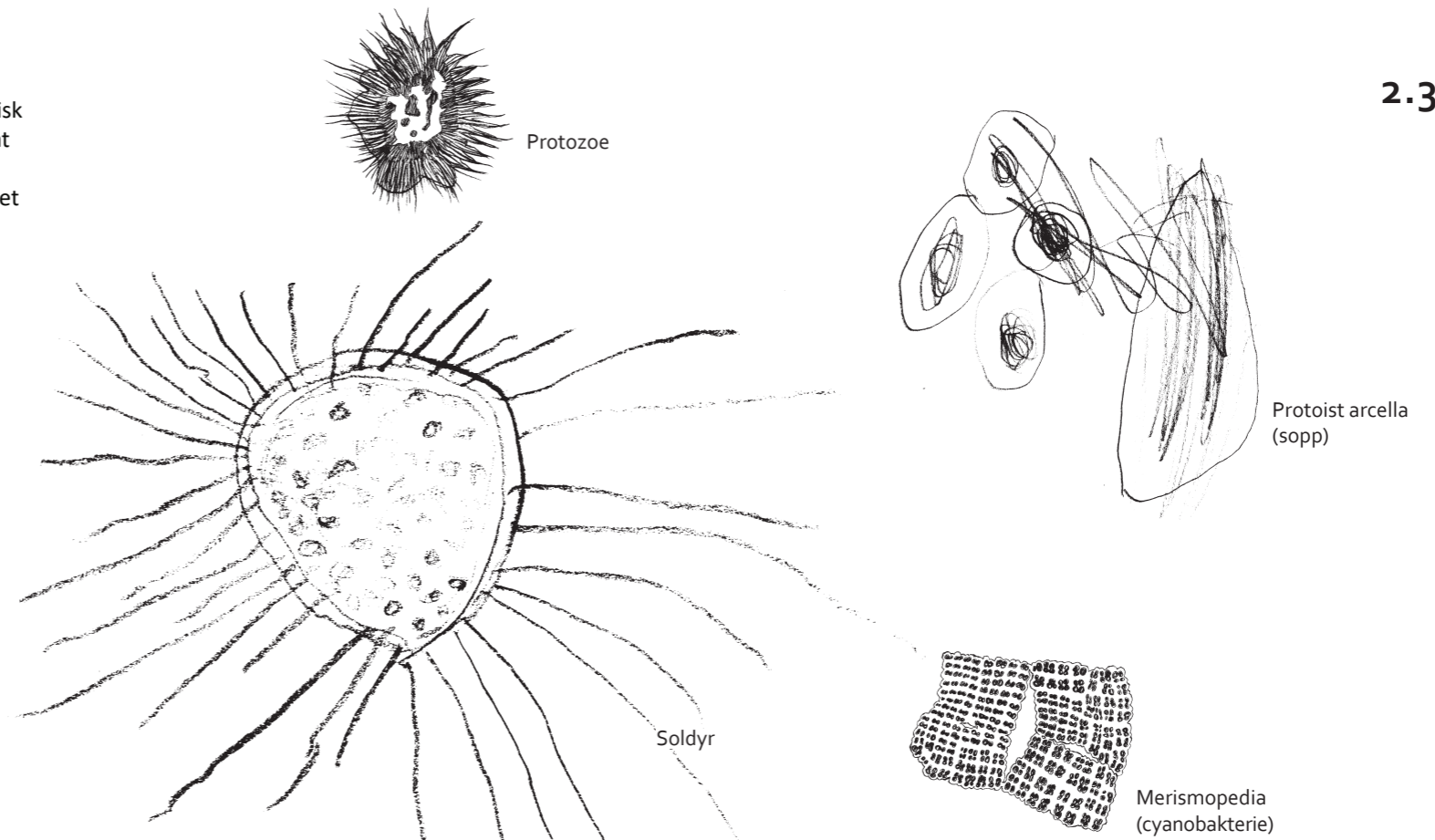


Figur 2.4 – Mikroorganismer

Hvert gram jord kan inneholde flere milliarder bakterier, hundre- til tusenvis av meter med sopphyfer, millionvis protozoer, og hundrevis av flercellede organismer. Disse blomstrer raskt opp når avløpsvann tilføres jord. Organismene livnærer seg av bakterier og smittestoffer. Den biologiske aktiviteten bidrar til at fosfor forbrukes, nitrogen omdannes og organiske forbindelser brytes ned til enklere bestanddeler som karbondioksyd og vann (Østeraas & Robertsen 1995).

Mikroorganismer tegnet av William Lu Olsson-Tanding, 6 år, basert på bilder fra [protist.i.hosei.ac.jp/Science\\_Internet/TI\\_2001E/abstract.html](http://protist.i.hosei.ac.jp/Science_Internet/TI_2001E/abstract.html); [emu.arsusda.gov/default.html](http://emu.arsusda.gov/default.html); [phil.cdc.gov/PHIL/Images/09192002/00011/PHIL\\_2171\\_lores.jpg](http://phil.cdc.gov/PHIL/Images/09192002/00011/PHIL_2171_lores.jpg)

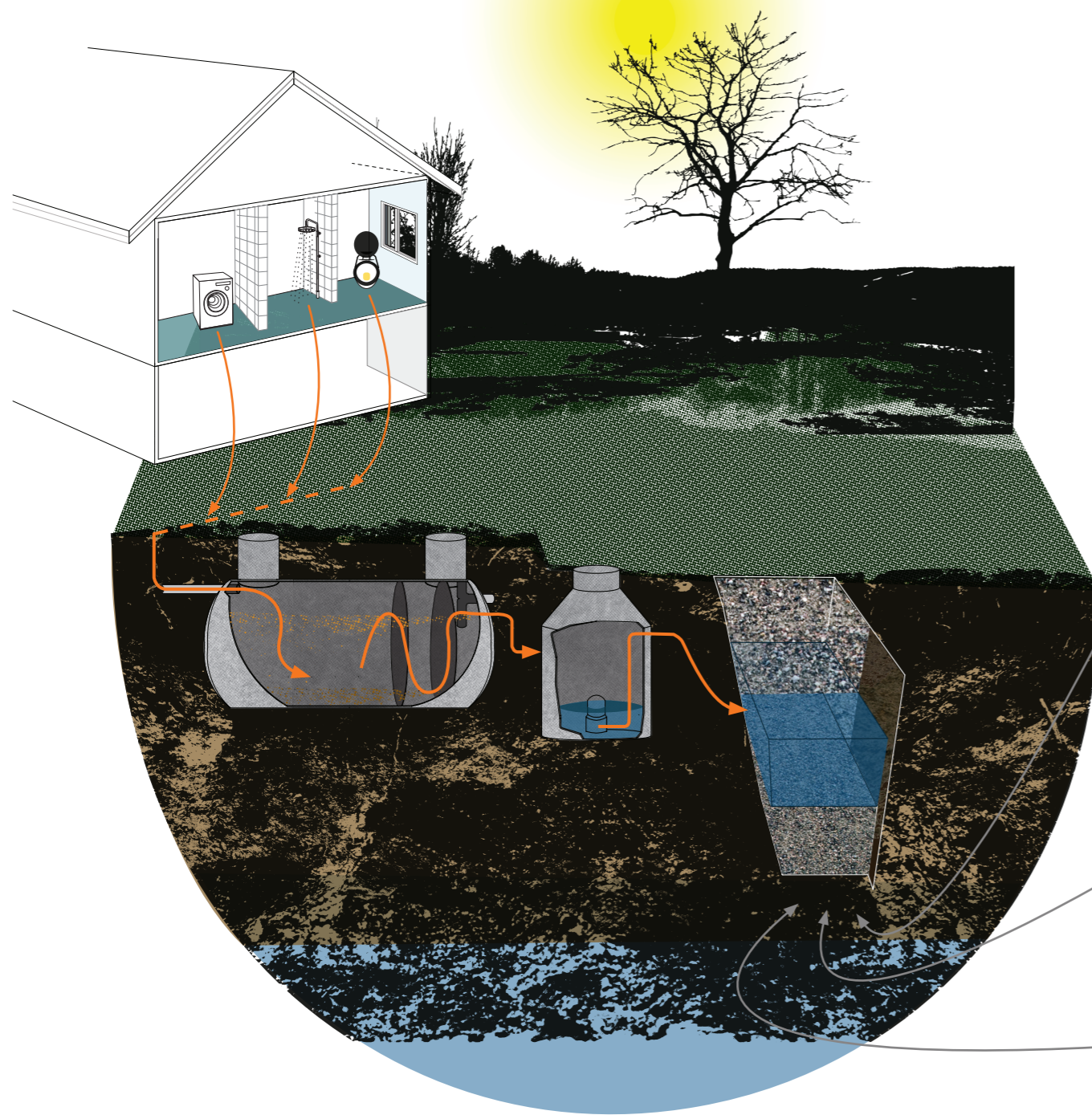
### 2.3 Jord



Figur 2.5 – Utvikling av biofilm / biohud

Sekvensen viser fem steg i utviklingen av mikrobiell biofilm (1) Organismer festes til overflaten. (2) Festet er irreversibelt. (3) Første modningsfase. (4) Andre modningsfase. (5) Spredning.

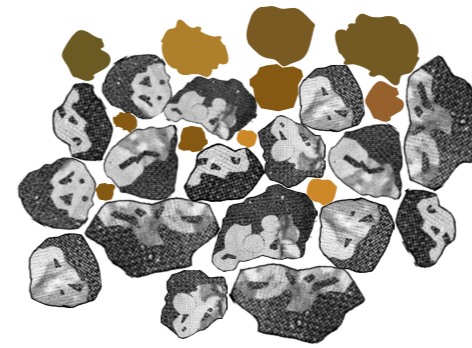
Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på *Growth Cycle of Biofilm*. [myutahwater.com/umws\\_biofilm.htm](http://myutahwater.com/umws_biofilm.htm) nedlastet 18.2.2008.



**Figur 2.6 – Renseprosesser i jord**

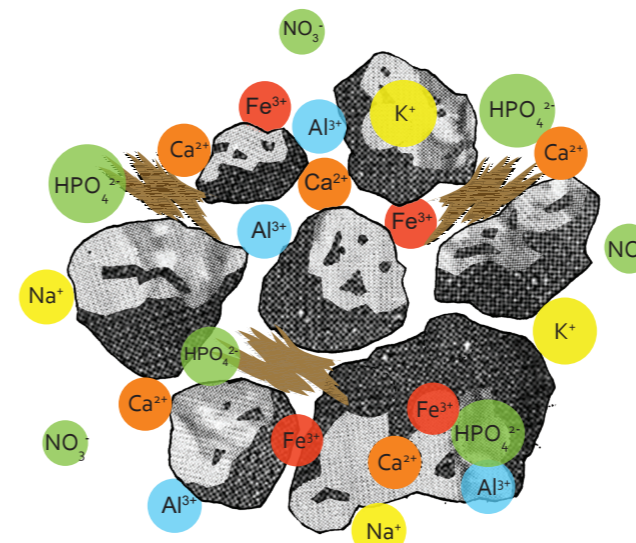
I jord foregår mekaniske, biokjemiske og kjemiske renseprosesser som er analoge til prosessene i konvensjonelle renseanlegg.

Illustrasjoner: Elin T. Sørensen 2008 basert på Hensel et al. (2008). *Bioforsk tema*. Vol. 2. Nr. 25: 2007; Jenssen et al. (2006). *VA-Forsk* 2006:20.



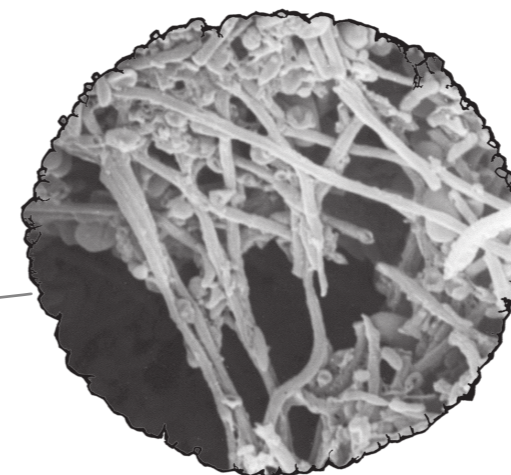
**Mekanisk tilbakeholdelse**

Forurensinger (brun) fanges opp av mineralpartiklene (grå) og filtreres ut.



**Overflatekjemiske effekter**

Positive ioner binder seg til mineralpartiklene (grå). Fosfat binder seg til Fe- og Al-oksider og organisk materiale (brune irregulære former). Nitrat bindes ikke, men kan opptas av plantene via jordvannet.



**Biokjemisk nedbrytning**

Det er mest biologisk aktivitet og utvikling av biofilm, rett under infiltrasjonsgrøften. Bakteriene i biofilmen skiller ut enzymer som inaktiverer mikroorganismer i avløpsvannet. Protozoer beiter på bakteriene, og biofilmen holder virus, bakterier og parasitter tilbake ved elektrostatiske og hydrofobiske interaksjoner (Jenssen et al. 2006).

**2.3 JORD**

Jordens fysiske og kjemiske egenskaper bestemmes av de minste jordpartiklene, som leire og kolloider med partikkelstørrelse mindre enn 0,002 mm. Liten størrelse gir stor overflate per vekt, og dette bidrar til at leire og kolloider har stor evne til å adsorbere ulike stoffer. Partiklenes overflate er elektrisk ladet med overvekt av negative ladninger noe som betyr at positive ioner adsorberes lettere i jord enn de som har negativ ladning. Det foregår et samspill mellom ioner festet til kolloidenes overflate, de som er oppløst i jordporevannet og ionene som skilles ut fra planterøtter (jf Figur 2.9, s. 38).

Konsentrasjonsforskjeller i jordvæsken, som følge av tilført gjødsel eller plantenæringsopptak, styrer ionebyttingsprosesser. Jordas kornstørrelse og ioneinnhold, som igjen påvirker jordas pH, innvirker på denne utbyttingen.

Rensing i jord foregår ved *mekanisk-fysiske, kjemiske og biologiske prosesser* (jf Figur 2.6 til venstre). Finkornige jordarter er effektive når det kommer til *mekanisk filtrering* av små partikler og bakterier. Leire har derfor gode filtreringsegenskaper, men er ikke egnet til infiltrasjon. I naturbaserte renseanlegg er det mest vanlig å benytte ulike fraksjoner av sand og grus.

De viktigste renseprosessene foregår rett under infiltrasjonsanlegget og massene som ligger over eventuell grunnvannssone (jf Figur 2.6). Her dannes det raskt en *biohud*, eller *biofilm*, med høy biologisk aktivitet. Mikroorganismene fester seg som et tynt lag rundt jordpartiklenes overflate (jf Figur 2.5, s. 33). Oppblomstring av naturlig tilstedeværende mikroorganismer medfører at organisk materiale brytes ned til enklere forbindelser (Østeraas & Robertsen 1995). Biohuden fungerer også som et filter, slik at større partikler og organisk materiale siles fra. Mindre partikler som går igjennom, holdes allikevel tilbake av sand og gruskorn i underliggende masser. Prosessene i biofilmen påvirkes av temperatur. I tillegg spiller rensemediets kornstørrelse inn. Stor overflate gir stort biofilmareal. Jordporene blir mindre når jordpartiklene omsluttes av biofilm. Jordarter med liten porestørrelse kan filtrere og fange opp mikroorganismer så små som bakterier og parasitter. Jordarter som nyttes i naturbaserte renseanlegg har gjerne store porer (Jenssen et al. 2006).

Bakterier og virus fjernes normalt godt i naturbaserte anlegg på grunn av *biologiske og kjemisk-fysiske prosesser*. Det skjer en rekke kjemiske reaksjoner mellom stoffer i avløpsvann og jordpartiklene. Adsorpsjon innebærer at uønskede stoffer holdes tilbake ved binding til jordpartiklenes overflate. Andre fremtredende reaksjoner er ionebytting og kjemisk felling (Jenssen et al. 2006; Østeraas & Robertsen 1995).

Fosfor som er bundet i organisk materiale holdes tilbake i biofilmen. I tillegg forbrukes fosfor av mikroorganismer under nedbrytningsprosessene. Både fosfor og metaller bindes sterkt til mineraler i løsmassene (Østeraas & Robertsen 1995).

Kalkstein, mørke skifre, skjellsand som inneholder mye kalsiumkarbonat sammen med rustbrun, oksidert jord og jordarter med høyt innhold av jernforbindelser, binder fosfor godt. Ettersom mineraler i jordlag nær overflaten oksideres, er det gunstig å bygge infiltrasjonsanlegget grunt, for å oppnå best renssevne for fosfor (Jenssen et al. 2006).

Nitrifikasjon og denitrifikasjon er de viktigste kjemiske reaksjonene knyttet til nitrogenfjerning i jord. Nitrifikasjon er en mikrobiell prosess knyttet til aktiviteten i biofilmen på jordpartiklens overflate. Nitrifikasjon krever oksygen. Ved infiltrasjon av avløpsvann i jord foregår nitrifikasjon i den umettede sonen. Oksiderende forhold i jord gjør at ammonium oksideres til nitrat ( $\text{NO}_3$ ).

Nitrat adsorberes dårlig til jordpartikler på grunn av at nitraten har negativ ladning. Gode betingelser for denitrifikasjon er derfor nødvendig for å unngå at nitrat transporteres til grunnvannssonen. Denitrifikasjon innebærer at nitrat omdannes til nitrogengass. Under anoksiske eller anaerobe forhold forbrukes oksygen ved at nitrat reduseres til nitrogengass. Oksygen forbrukes også på grunn av respirasjon hos denitrifiserende bakterier. En ubetydelig del nitrogen siver ut som drivhusgassen lystgass. Dette skjer i alle former for mikrobiell denitrifikasjon, også i konvensjonelle renseanlegg (Jenssen et al. 2006).

I riktig dimensjonerte infiltrasjonsanlegg er forholdene hovedsakelig oksiderende. Dette er mindre gunstig for denitrifikasjonsprosesser som krever anaerobe eller anoksiske forhold. Alle naturbaserte renseanlegg, også sandfilter, fjerner allikevel nitrogen, siden denitrifikasjon også foregår i anaerobe mikrosoner i biofilmen (Jenssen & Siegrist 1998, sitert i Jenssen et al. 2006).

“Jord og sand har en stor overflate sammenlignet med rensemedier som brukes i konvensjonelle renseanlegg” (Jenssen et al. 2006). Det organiske materialet i avløpsvannet brytes ned over tid. Rensemediets kornstørrelse, mengde avløpsvann som belaster renseanlegget og avløpsvannets oppholdstid i anlegget innvirker på renseeffekten. Renseevnen i sand og jord er godt dokumentert gjennom de siste 20 års forskning på området. Jenssen et al. (2006) hevder på grunnlag av dette at renseeffekten er “fullt på høyde eller bedre enn konvensjonelle renseanlegg”.

### 2.3.1 Jordbaserte rensemetoder

Jordas evne til å rense utnyttes i naturbaserte metoder hvor avløpsvann infiltreres i jord. Slike anlegg kan utformes på en rekke måter: “Store infiltrasjonsanlegg bygges ofte som åpne bassenger, mens små anlegg bygges som lukkede grøfter eller bassenger” (Jenssen et al. 2006). Hvis naturgitte løsmasser viser seg uegnet for jordinfiltrasjon kan renseanlegget legges oppå bakken, metoden kalles jordhauginfiltrasjon.

I små lukkede infiltrasjons- og jordhauginfiltrasjonsanlegg forbehandles avløpsvannet i en slamavskiller, mens slammedimentering i åpne bassenger er vanlig i større anlegg. Denne forbehandlingsløsningen er valgt for Rena rensepark (Jenssen et al. 2006).

Grundige undersøkelser av hydrogeologiske forhold er av betydning for lokal stedstilpasning, dimensjonering og optimal renseevne for infiltrasjonsanlegg. Størrelsen på selve filteret bestemmes av dimensjonerende vannmengde, infiltrasjonskapasitet og hydraulisk kapasitet i de stedlige jordmassene. Kartlegging av slike forhold inngår som del av dokumentasjonskravene i henhold til Forurensningsforskriften kapittel 12, §12-10 (Hensel et al. 2008a).

“Dimensjonerende vannmengde bestemmes ut fra antall personekvivalenter (pe) og spillvannsforbruket per person per døgn [...] Infiltrasjonskapasitet (liter/m<sup>2</sup>) for avløpsvann

er den mengden slamavskilt avløpsvann som kan infiltreres per arealenhet i en gitt jordart. Verdien bestemmes ut fra jordmassenes kornfordeling og vanngjennomtrengelighet (hydraulisk ledningsevne). [...] Den hydrauliske kapasiteten (m<sup>3</sup>/døgn) er et mål på mengden vann som en gitt løsmasseavsetning kan motta kontinuerlig uten at ulemper og endring av den lokale hydrologien oppstår. Dersom den hydrauliske kapasiteten overskrides, vil grunnvannsstanden kunne stige som en følge av at jordmassene ikke greier å ta unna tilførte vannmengder” (Hensel et al. 2008a).

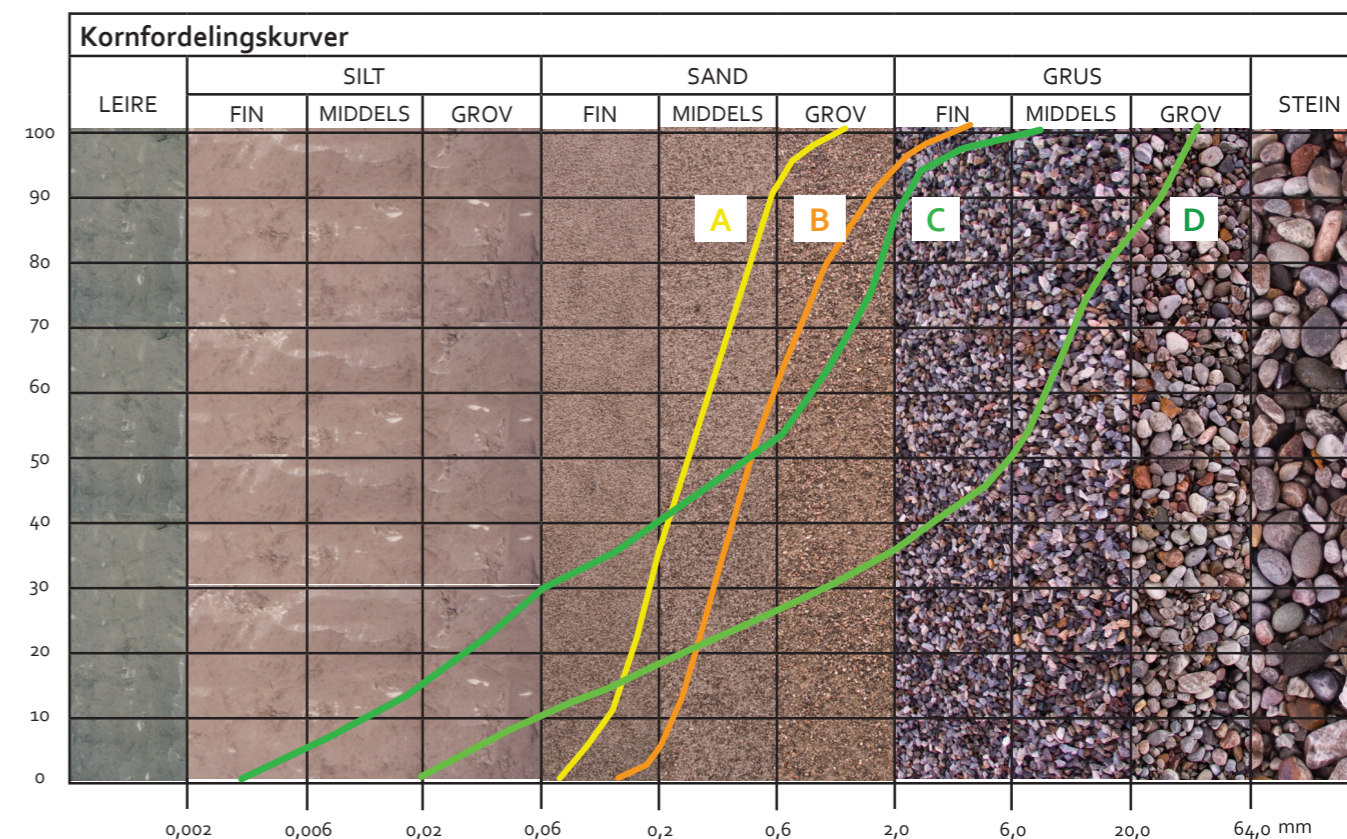
Utforming av infiltrasjonsanlegg må skje i henhold til lokale løsmassers vannledningsevne, slik at tilførsel av fremmedvann ikke overskrider jordas naturlige kapasitet (Hensel et al. 2008a; Jenssen et al. 2006). Jordas vannmetning og vannledningsevne påvirker renseevnen. I den forbindelse snakkes det om mettet og umettet sone i jordlagene. I riktig dimensjonerte infiltrasjonsanlegg skal strømmingen skje i den umettede sonen, det vil si de jordmassene som ligger over grunnvannspeilet. Trykk og gravitasjon påvirker vannstrømmen både i horisontal og vertikal retning. Vantransporten og dermed renseevnen kan variere også med hensyn til jordart, årstid og nedbør (Jenssen et al. 2006; Østeraas & Robertsen 1995). I umettet jord spiller kapilærkreftene inn, og vannet beveger seg fra fuktige til tørre partier (jf Figur 2.8). I tørre perioder sprer vannet seg horisontalt over større areal. I infiltrasjonsanlegg virker slike forhold inn på andel jord som renser aktivt (Jenssen et al. 2006).

Renseevne påvirkes av avløpsvannets oppholdstid i anlegget, og den tiden det tar før det rensede avløpsvannet når grunnvannssonen. Renseevnen reduseres noe ved mye nedbør. Belastningstopper må derfor inkluderes i dimensjoneringen (Jenssen et al. 2006). Jordmediets kornfordeling og struktur har betydning for dimensjonering av infiltrasjonsanlegg. Jordas kompakthet og struktur, som følge av jordsmonndannende prosesser, må også vurderes.

Jordartene følger en gradient fra finjord til stein og blokker. Marine avsetninger, som silt og leir, er finkornig. Finkornede jordarter har større overflate enn grovere typer. Jordvannet ligger som en tynn film rundt jordpartiklene og medfører at finkornet jord klumper seg sammen i større aggregat. Dette gjør vanngjennomtrengeligheten i leirjord svært lav. Dette gjør at leire normalt ikke er egnet for infiltrasjon, ettersom det vil kreve for store arealer. I sand og grus skjer ikke aggregering. Slike jordtyper karakteriseres ved enkeltkornstruktur. Enkeltkornstrukturen gjør at vannledningsevne kan bestemmes ut fra kornfordeling i godt sortert sand og grus (jf Figur 2.8).

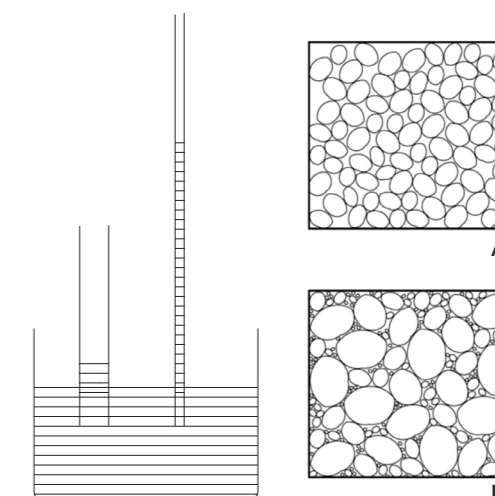
Bestemmelse av jordartenes porestruktur, aggregeringsevne og sortering er avgjørende i vurderingen av tilstrekkelig vannledningsevne (Jenssen et al. 2006). Som et verktøy for å skille mellom jord som er godt og dårlig sortert, er det utviklet et diagram basert på kornfordeling (Jenssen 1986).

Diagrammene brukes i bestemmelsen av hydraulisk arealbelastning for lukkede infiltrasjons- og sandfilteranlegg i Norge. Figur 2.7 illustrerer ulike jordsorteringer med tilhørende vannledningsevne. Ettersom det er liten sammenheng mellom hydrauliske egenskaper og kornfordeling i morener og marine avsetninger, er det også utviklet et infiltrimeter som gjør det mulig å måle relevante parametre i felt (Jenssen et al. 2006).



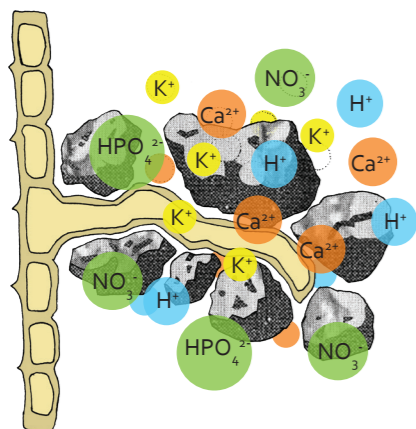
- A: fin/middels sand med vannledningsevne på 5 m per døgn.
- B: middels/grov sand med vannledningsevne på 45 m per døgn.
- C: siltig morene med vannledningsevne på 1 m per døgn.
- D: sandig morene med vannledningsevne på 2,5 m per døgn.

Figur 2.7 - Kornfordelingskurver for sand (A, B) og morene (C, D) Ulike dimensjoneringsklasser for jordmasser angis i VA/Miljø-blad nr. 59: Lukkede infiltrasjonsanlegg (NFK & NORVAR 2003; Jenssen et al. 2006). Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008, etter Jenssen et al. (2006). Figur 3-17. VA-Forsk rapport 20. Svenskt Vatten AB 2006.



Figur 2.8 – Vannets bevegelse i jord Kapilærkreftene er årsak til tofasestrømmingen. I porøse jordarter tømmes de største porene først, siden vannet ikke er så sterkt bundet av kapilærkreftene. Umettet strømming kalles også tofasestrømming fordi porene i jordmediet både er fylt med luft og vann. Luften fyller, som regel, de største porene, mens de minste er fylt med vann. I godt sortert jord (A) er vannledningsevnen høyere enn i dårlig sortert jord (B), hvor de større hulrommene er fylt opp med mindre korn.

Illustrasjoner: Elin T. Sørensen 2008 etter Skøien (1990) og figur 3-18, Jenssen et al. (2006).



**Figur 2.9 – Interaksjoner i plantenes rotsone**

Det skjer en utveksling av vannopløslige næringsstoffer mellom plantenes hårrøtter, ionene i jordvæsken, og ioner adsorbent på jordpartiklene rundt.

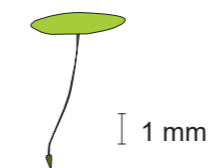
Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008.



**Figur 2.10 – Jordmediets overflate**

Mulig rensegrad står i direkte forhold til rensemediets overflate-areal. At jord, sand eller lettklinker har god renseevne, skyldes blant annet deres store overflate. En kubikkmeter sand med en kornstørrelse på 1mm kan ha et overflateareal som overstiger 3000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Rislefilter eller biofilmreaktorer, som er vanlige rensemedier i store sentraliserte renseanlegg, har et overflateareal som sjelden overstiger 600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Foto: Elin T. Sørensen 2008. Kilde tekst: Jenssen et al. (2000). Institutt for tekniske fag. ITF Rapport 108:2000.



**Figur 2.11 – Andemat (*Lemna minor*)**

Andemat er en liten flyteplante som formerer seg lett og som brukes i damanlegg for rensing av avløpsvann. Andemat bryter ned organiske fosforforbindelser og akkumulert metall-forurensing (McCutcheon & Schnoor 2003). Biomasse kan komposteres og brukes som jordforbedringsmiddel. Andemat inneholder opptil 45 prosent protein, noe som gjør planten interessant innen matproduksjon og til dyrefôr (Hjelmstad 2008).

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008.

## 2.4 VEGETASJON

Vegetasjonen spiller en sentral rolle i opprettholdelsen av jordklodens økosystem. Både på regionalt og globalt nivå har sammenhengende grøntområder betydning for klima, vannbalanse og biologisk mangfold. Feltet landskapsøkologi tar opp forhold mellom landskap og prosesser i økosystemet. I landskapsøkologi beskrives landskapet som en mosaikk av biotoper (*patches*), vegetasjonskorridorer og bakgrunnssystemer (*matrix*). Bakgrunnssystemet utgjøres av tilstøtende økosystem, arealdekke og bruk (Forman 1995). Landskapet som levende system er per definisjon dynamisk, og naturtyper og habitat påvirkes kontinuerlig av omgivelsene. Transformasjon i natursystem skjer både ved naturlig og menneskelig innvirkning.

Fragmentering og oppdeling av landskapet fører, generelt sett, til reduserte habitater som igjen kan true sårbare arter. I landskapsøkologien forklarer begrepene *struktur*, *funksjon* og *endring* denne type interaksjon (jf Boks 1.7, s. 18). Landskapets funksjon handler blant annet om sirkulasjon av arter, næringsstoffer, energi i systemet. En sirkulasjon som virker inn på vannkretsløp og jordsmonndannelse. I landskapet skjer det endringer i funksjon og romlige forhold over tid (Dramstad et al. 1996; Environmental Law Institute 2003).

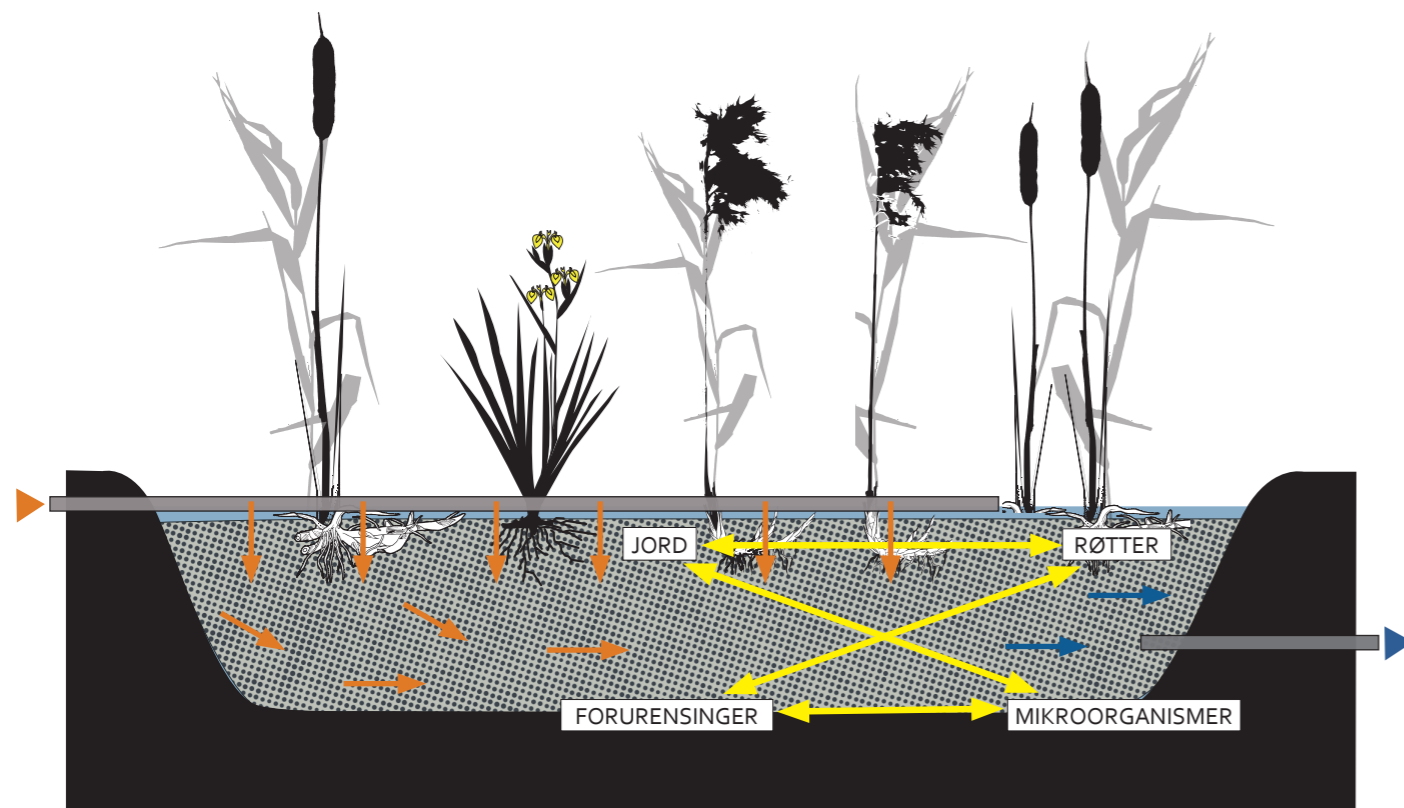
Begrepet *grøntstruktur* er i følge Nyhuus (2000) forbundet med de grønne interessene i byer og tettsteder. Grøntstruktur er mønsteret av blågrønne areal innenfor et gitt geografisk område som ikke er nedbygget eller lagt under fast dekke. Nettverket av vegetasjonskorridorer i omgivelsene fungerer som buffersoner mellom ulike

vegetasjonssoner og landskapselementer. Slike buffersoner bidrar til materialutveksling, eksempelvis sirkulasjon av næringsstoffer. Endringer i vegetasjonsmønsteret i byer og tettsteder er i dag omfattende (Nyhuus 1991; Nyhuus 2000). For å ivareta sammenhenger i grøntstrukturen, som blant annet er en viktig forutsetning for biologisk mangfold, bør arealbruk og landskapsplanlegging skje i lys av regionale forhold (Dramstad et al. 1996; Environmental Law Institute 2003). Innføring av konstruerte jord- og plantebaserte rensesystemer kan utgjøre positive bidrag til grøntstrukturen på lokalt nivå.

### 2.4.1 Plantebaserte rensemetoder

Planter er i seg selv finjusterte systemer for opptak og omsetning av stoffer i jord og vann. Bruk av karplanter, alger og sopper for å fjerne eller kontrollere opphopning av uønskede avfallstoffer, inngår i konseptet *phyto Remediering* (McCutcheon & Schnoor 2003). Begrepet er sammensatt av det greske ordet for plante *phyton* og *remediering* som betyr middel, redskap eller behandling. Metoden spiller på lag med prosesser i naturen og regnes som et viktig bidrag til såkalt *grønn teknologi*. Samtidig er vegetasjon brukt til rensing og filtrering av avfallstoffer i jordbruket de siste 300 år. Behandling av avløpsvann i akvatiske system går hele 3000 år tilbake (Jenssen et al. 1992).

De første eksperimentene med våtmarksvegetasjon for rensing av avløpsvann ble utført av den tyske forskeren Dr. Käthe Seidel i starten på 50-tallet (Stottmeister et al. 2003).



Figur 2.12 – Konstruert våtmark med vertikal vannstrøm

I anlegg med vertikal vannstrømning fordeles vannet på overflaten, for deretter å dreneres til bunn. Avløpsvann (oransje) tilføres våtmarken via perforert rør. Deretter renses det via vertikal strømming i filtermassen. Gule piler indikerer interaksjon som foregår i plantenes rotsone mellom forurensninger og mikroorganismer tilknyttet jord og røtter.

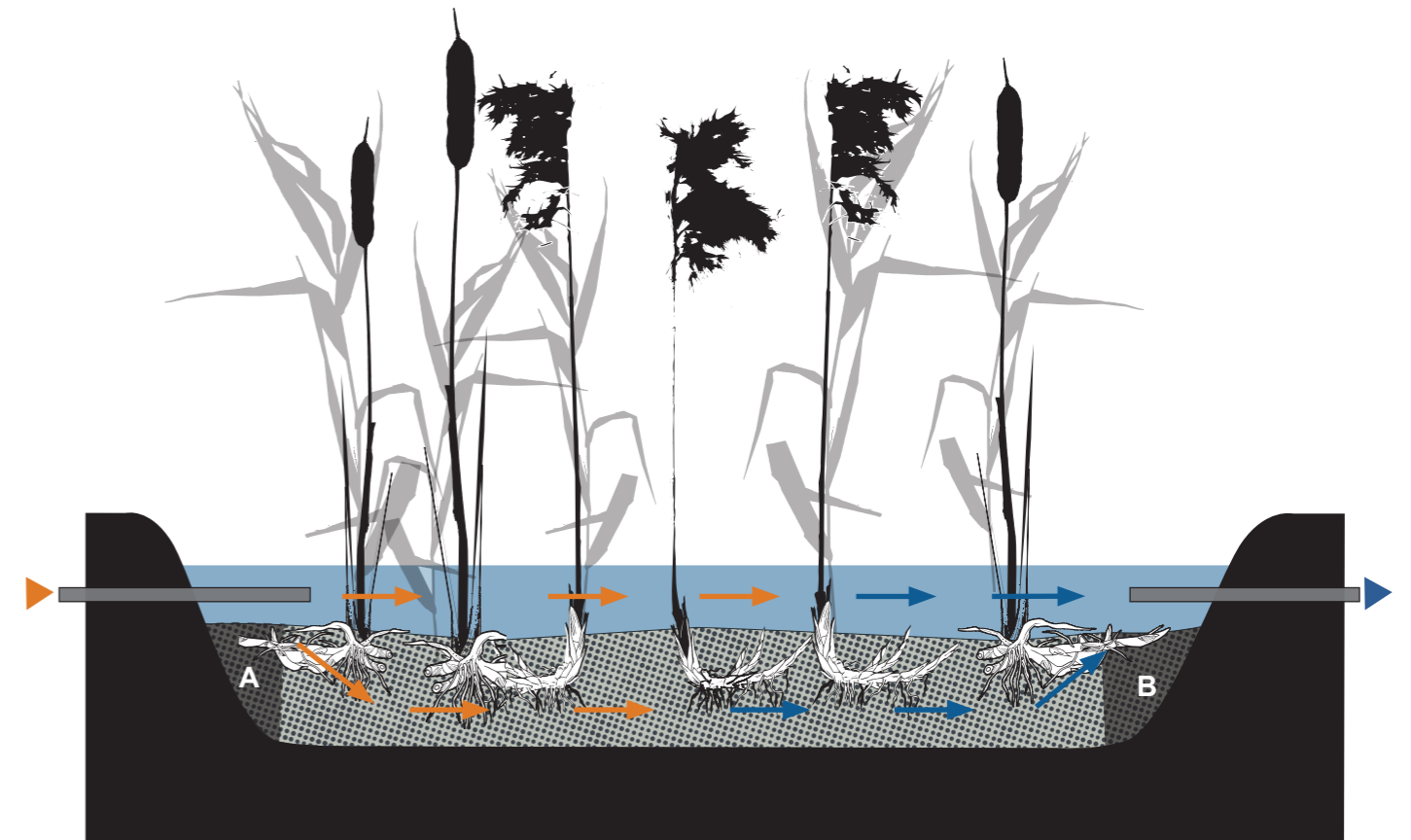
Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008 basert på Stottmeister et al. (2003). *Biotechnology Advances* 22: 2003.

Metoden konstruert våtmark ble videreutviklet som renseteknologi i Europa fra 60-tallet og utover, og i USA tidlig på 80-tallet (Reed 1993). Konkrete forsøk med å fjerne tungmetaller fra jord startet opp på 70-tallet, og praksisen ble utvidet på 80- og 90-tallet. I dag integreres slike løsninger i flere forskjellige renseprosjekter i USA, Tyskland, Danmark, Finland og Sverige. En annen planterensemings ytterlighet er japanske forsøk på genetisk modifisering av planter for å optimalisere opptak av nitrogenforbindelser. Målet er å utvikle planter som kan brukes til å rense luften i sterkt trafikkerte bymiljø.

Internasjonale forskergrupper regner phyto Remediering som en kostnadseffektiv metode for avfallshåndtering og forurensningstiltak (McCutcheon & Schnoor 2003). Forskningsmaterialet er omfattende. Effekten av naturbasert renseteknologi for rensing av kommunalt og mange typer industrielt avløpsvann er godt dokumentert (Jenssen et al. 2006; McCutcheon & Schnoor 2003; Reed 1993; Stottmeister et al. 2003).

I Norge har det nasjonale FoU-programmet *Naturbasert avløpsteknologi* (1994-1997) hatt betydning for utviklingen av jord- og plantebaserte rensemetoder. Programmet ble gjennomført med støtte fra Miljøverndepartementet, norsk industri og enkelte norske kommuner.

Målet var "å utvikle kostnadseffektive renseløsninger for spredt bebyggelse samt løsninger som utnytter og resirkulerer ressursene i avløpsvann" (Jenssen et al. 2000).



Figur 2.13 – Konstruert våtmark med horisontal vannstrøm

I anlegg med horisontal vannstrøm drives vannet gjennom filteret på grunn av nivåforskjell mellom inn- og utløp. I enden av anlegget er det en utløpskum hvor nivået på vannbelastning reguleres. Avløpsvann (oransje) føres først gjennom en innløpsone med grus (A). Vannet renses ved hjelp av mekaniske, biokjemiske og biologiske prosesser i filtermediet og plantenes rotsone. Renset avløpsvann (blått) føres gjennom et nytt grusfilter (B) før det når utløpet.

Illustrasjoner: Elin T. Sørensen 2008 basert på Stottmeister et al. (2003).

beskrives som landskapets nyrer, ettersom ulike forurensninger filtreres, bindes og omsettes her (Encyclopædia Britannica Online 2008; Jenssen et al. 1992).

Utnyttelse av naturlige våtmarkssystem til renseformål, alene eller i kombinasjon med konvensjonell teknikk, er vanlig i USA og Canada. I Rogaland filtreres vann fra bekker, belastet med avløpsvann fra jordbruk, husstander og veg-anlegg, via sumpområder med takrør- og sivaksbestander (Jenssen et al. 1992).

Drenering og ødeleggelse av slike areal er ofte relatert til aktiviteter som jordbruk, utbygging og rørgateinstallasjoner. Ødeleggelse av våtmarksområder regnes derfor som et stort problem over hele verden (Sabima 2006).

### 2.4.3 Konstruert våtmark

Det er mikrobiell aktivitet i våtmarksplantenes rotsone og omsluttende jordkultur som gjør det interessant å bygge våtmarkssystemer som forurensningskontrollerende løsninger. Ettersom interaksjonen mellom jord og planter må sees i sammenheng, inngår konstruert våtmark i kategorien jord- og plantebaserte rensemetoder.

I naturlige våtmarkssystemer strømmer vann enten fritt mellom plantestenglene, gjennom jorda som plantene vokser i eller både over og gjennom jordsubstrat. Samme prinsipper ligger til grunn for utformingen av ulike typer konstruert våtmark. Den største forskjellen er at konstruerte våtmarker bygges for å optimalisere rensefunksjon og kontroll av systemet. For å øke anleggets fleksibilitet bygges gjerne flere mindre, parallelle eller seriekoblede seksjoner. Avløpsvannet tilføres under regulerte forhold, og seksjonene belastes vekselvis. Flere bassenger forenkler også kontroll og ettersyn fordi systemet fortsatt kan holdes operativt selv om ett av bassengene er ute av drift (Jenssen et al. 1992).

Det er vanlig å bruke grus og grov sand i jordfilteret. I anlegg som bygges i Norge i dag anbefales filtermediet *FiltraliteP*. Lettklinker av brent leire er optimalisert for opptak av fosfor. Skjellsand og rustbrun (oksidert sand) kan også ha høy fosforbinding og brukes i dag i våtmarksanlegg. For å unngå at forurenset vann når grunnvannssonen tettes bunnen vanligvis med leire og/eller ulike typer membraner.

Anleggene kan beplantes med ulike arter våtmarksplanter (jf Tabell 2.5, s. 48-49): "I våtmarksfiltre beplantede med våtmarksplanter kan både nitrifikasjon og denitrifikasjon forekomme. Dette skyldes at det er en aerob sone nær planterøttene fordi våtmarksplanter har evne til å transportere oksygen til røttene. I en viss avstand fra røttene vil det være anoksiske forhold. Dette gir ideelle betingelser for nitrogenfjerning" (Jenssen et al. 2006).

Sammen med interaksjonene mellom bakterier, sopp og mikroorganismer er samspillet mellom prosesser i jord og plantenes rotsone av betydning for renssevne. Jordomgivelsene virker som et stabilt vekstmedium for biofilm, hvor størsteparten av de naturlige nedbrytningsprosessene foregår. Jordtype, pH og temperatur innvirker også på strømningshastighet, oksygentilgang, og fysiske og biokjemiske prosesser. I varme perioder om sommeren fordampes såpass mye av det tilførte vannet fra plantenes bladplater at vannutslipp får et midlertidig opphold. I områder hvor rensesystemet ligger med tilknytning til sårbare resipienter er denne dynamikken gunstig (Jenssen et al. 1992; Jenssen 2005; Jenssen et al. 2006).

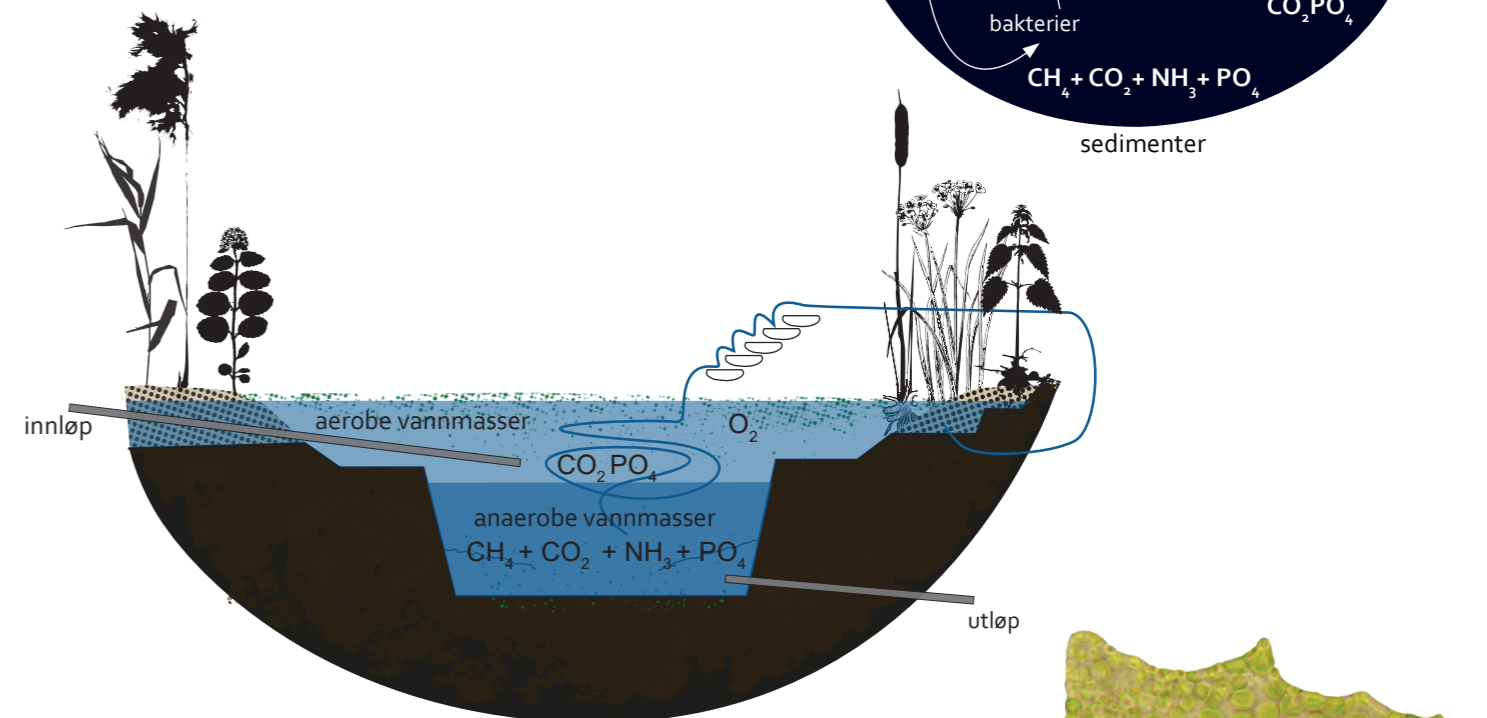
For å oppnå ulik renseseffekt kan konstruerte våtmarkssystemer utformes på forskjellig vis. Våtmarkssystem basert på porøse jordarter konstrueres enten for *horisontal-* eller *vertikal vannstrøm* (jf Figurer 2.12-2.13, s. 38-39). I litteraturen omtales anlegg med horisontal vannstrøm som *konstruert* eller *anlagt våtmark*, *våtmarksfilter*, *rotsoneanlegg* eller *filterbed*. Anlegg med vertikal vannstrøm kalles *våtmarksinfiltrasjonsanlegg*. Våtmarkssystem hvor hovedrensing foregår i vannmassene over rotsone omtales som *akvatiske system*.

Kombinasjonen av ulike konstruksjonsmåter og flere sammenkoblede basseng øker systemets robusthet. I de tørre bassengene kommer det til luft som diffunderer i jordsmonnet. Uttørkings- og lufteperiodene bidrar til økt nedbrytning av organisk materiale og oksidering av ammonium. Våtmarksinfiltrasjon (vertikal vannstrøm) egner seg derfor som aerob forbehandling til filterbed med horisontal strømning eller andre rensemetoder (Jenssen et al. 1992).

I en anlagt våtmark fjernes nitrogen godt da det er vekslende aerobe og anaerobe forhold omkring plantenes rotsone. Våtmarksplanter har hule røtter som frakter oksygen til røttene. Når plantene går i dvale vinterstid minsker imidlertid oksygentilførselen. Installering av et aerobt forfilter sikrer derfor nitrifikasjon gjennom hele året. Flesteparten av anleggene som bygges i Norge i dag består derfor av slamavskiller, pumpekum som kan integreres i en slamavskiller, et aerobt biofilter med vertikal nedadgående strømning, en våtmark med horisontal strømning og til slutt en prøvetakings- og nivåreguleringskum (Jenssen et al. 2006).

Det er også mulig å bygge opp større plantefelt som vegetasjonsfiltre. Forbehandlet avløpsvann spres da, med periodisk belastning, fra perforerte rør over bakken. Rensing skjer ved filtrering, mikrobiell nedbrytning, bindings- og fellingreaksjoner i jorda og plantenes rotsone. I tillegg opptas næringsstoffer av plantene. I slike system lagres avløpsvannet over vinteren. Rensing av avløpsvann i naturlige skogsfelt er også et mulig alternativ. Vegetasjonsfiltre egner seg som etterpolering av vann fra konvensjonelle rensenanlegg (Jenssen et al. 1992).

Treaktig og fiberrik vegetasjon kan høstes og biomasse kan videreforedles for energiformål. Til tross for at vegetasjonsfiltre opptar store areal er slike løsninger interessante, ettersom de både er forebyggende mot forurensing og kan planlegges som energiskog.



Figur 2.14 – Vannbaserte rensemetoder

(1) I vannbaserte rensesystem skjer biologisk og kjemisk omdanning i de frie vannmassene og bunnsedimentenes øvre lag. Avfallsstoffer brytes ned, mineraliseres og omsettes av alger, bakterier, protozoer og høyerestående organismer. Nitrogen fjernes ved fordampning, nitrifikasjon-denitrifikasjon, algeopptak og binding til bunnslam. Fosfor fjernes ved utfelling og binding til slam (Jenssen et al. 1992). Flyteplantene tjørnaks og andemat nyttes i damanlegg for rensing av avløpsvann. Bladplatene gir skygge til vannflaten og reduserer uønsket algevekst. Biomassen kan komposteres og brukes som jordforbedringsmiddel og dyrefôr (Browne 2008).

(2) Fakultativ biodam slik den er utformet i rensenanlegget tilknyttet Vidaråsen Landsby. Slike biodamsystem kan bestå av slamavskiller og flere grunne dammer. I det aerobe vannsjiktet tilføres oksygen via fotosyntesen og vannoverflaten. I bunn av dammen er forholdene anaerobe (uten luft). I luftede biodammer tilføres oksygen ved mekaniske installasjoner som vanntrapp (Jenssen et al. 1992).

(3) Det er mulig å dyrke alger i rensedammer. Algene inneholder fettstoffer som blant annet kan nyttes som råvare for produksjon av biodrivstoff.

Illustrasjoner: Elin T. Sørensen 2008 (1) er basert på Jenssen et al. (1992); Botkin & Keller (2003). *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. Kap. 21; (2) er basert på Will Brownes prinsippskisse for fakultativ biodam.

#### 2.4.4 Vannbaserte rensemetoder

Som nevnt er behandling av avløpsvann i biologiske nedbrytningsdammer en svært gammel metode. Akvatiske system deles inn i ulike kategorier etter hvilke biologiske prosesser som dominerer og hvordan dammene er anlagt.

I *fellingsdammer* tilsettes kjemikalier for å optimalisere fosforfjerning. Ved høsting av plantemateriale fjernes næringsstoff, og biomassen kan komposteres og nyttes til jordforbedringsformål. Biomasse fra flyteplanter kan også benyttes til dyrefôr, og alger som råvare for biogass. Hvis planter, fisk eller alger innføres med tanke på høsting og videreføring, kalles metoden *akvakultursystem*. Biodammer karakteriseres som henholdsvis aerobe, anaerobe eller fakultative (det vil si med vekslende oksygentilgang) på grunnlag av "belastning og innhold av løst oksygen" (Jenssen et al. 1992). Akvatiske rensemetoder opptar forholdsvis store areal.

I *biodammer* skjer biologisk- og kjemisk omdanning i de frie vannmassene, bunnsedimentenes øvre lag og i planter og levende organismer. Nitrogen fjernes ved fordampning, nitrifikasjon-denitrifikasjon, algeopptak og binding til bunnslam. Fosfor fjernes ved utfelling og binding til slam.

*Fakultative biodammer* består av slamavskiller og flere grunne dammer med 1,2-1,6 meters dybde. Aerobe vannmasser, som får tilført oksygen via fotosyntesen og vannoverflaten, ligger over et anaerobt dypvannslag og et oksygenfritt slam (jf Figur 2.14). Avfallsstoffene mineraliseres og omsettes av alger, protozoer og høyerestående organismer.

I *luftede biodammer* tilføres oksygen ved mekaniske installasjoner som for eksempel en vanntrapp. Vannmassene holdes da i jevn bevegelse og oksygentilførselen optimaliserer aerobe prosesser. Innplantning av sumpplanter høyner renseprosessene. Plantene medfører økt oksygentilførsel, opptak av og nedbryting av næringsstoffer på grunn av stor biofilmoverflate i rotsonen. Flyteplanter øker også rensenevnen ved opptak av næringsstoffer, oksygentransport i vannmassene og som vertskap for mikroorganismer som utgjør en viktig del av renseprosessene (Jenssen et al. 1992).

#### 2.4.5 Vegetasjonens rolle i konstruert våtmark

Sumpplanten takrør (*Phragmites* spp.) er mest brukt i konstruerte våtmarksfiltere. Andre arter som ofte nevnes i både norske og utenlandske forskningsrapporter er sivaks (*Scirpus* spp.), dunkjevle (*Typha* spp.), kjempesøtgress (*Glyceria maxima*), sverdlilje (*Iris pseudacorus*) og starr- og sivarter (*Carex* spp. og *Juncus* spp.) (Jenssen et al. 2000; Jenssen et al. 1992; Jenssen 2005; McCutcheon & Schnoor 2003; Reed 1993; Stottmeister et al. 2003).

Takrør er den største gressarten i Norge og finnes naturlig i våtmarker i Skandinavia til ca 67° nord. Takrør er en av de planteartene som har størst biomasseproduksjon, noe som også medvirker til at planten har større rotmasse enn de fleste andre våtmarksplanter: "Takrør tåler høye nærings-saltkonsentrasjoner og klarer å vokse over et pH-intervall fra ca 2-12. Den store rotmassen gir god grobunn for bakterier og et variert biologisk miljø som fremmer omsetning av slammet" (Jenssen et al. 2006).

Reed (1993) har sammenliknet arter som takrør, sivaks og dunkjevle og fremhever takrør som best egnet i et system hvor lav vedlikeholdsinnsats er ønskelig. Takrør etablerer og sprer seg raskere enn sivaks og har dypere rotssystem enn dunkjevle. Takrør har mindre verdi som habitat enn de

andre artene, og utgjør derfor ikke en matkilde for gnagere som har vært et problem i våtmarkssystem med sivaks og dunkjevle. Samtidig kan takrør virke invaderende og medføre uønsket spredning.

Tabell 2.5 gir en oversikt over gress og stauder som egner seg i norske anlegg. Informasjonen omfatter økologi, krav til voksested, funksjon og bruk. Under funksjon inkluderes også informasjon om eventuell evne til å oppta lettere forurensinger av tungmetaller. Planter som tar opp tyngre forurensinger og høstes og destrueres på forsvarlig vis, kan tilføre ytterligere rensedimensjoner til konstruerte våtmarkssystemer.

Det er i miljøet tilknyttet rotsonen at organisk materiale, nitrogen og bakterier fjernes (Jenssen 2005). Plantenes rotzone, eller *rhizosphere*, inndeles i tre deler: *endorhizospheren*, som er rotens indre kjerne; *ectorhizosphere*, som er rotsystemets ytre miljø og *rhizoplanet*, som er sonen mellom kjerne og ytterkant. Den mest intense interaksjonen mellom plante og mikroorganismer foregår i denne overgangssonen. Vannplanter utveksler også luft via røttene. Samtidig forbrukes oksygen i nedbrytingen av døde planterester. Mikroorganismer forbrukes oksygen i nedbrytningsprosessen som inngår i rensing av avløpsvann. Oksygentilførsel til rotsonen regnes som viktig for mikroorganismers omsettingsevne (Stottmeister et al. 2003). Gasstrømmen gjennom planter skjer blant annet på grunnlag av diffusjon, og luftutvekslingsmekanismene er ulike hos ulike arter. Stottmeister et al. (2003) har undersøkt luftutvekslingen hos takrør, sivarter og dunkjevle. Ut fra dette studiet regner forfatterne luftutvekslingen hos bred dunkjevle (*Thypha latifolia*) og undersøkte sivarter å være av bioteknologisk relevans.

Tabell 2.3 – Korrelasjon mellom rotutvikling og rensesevne

Art	Rotdybde i meter	BOF mg/l	TSS mg/l	NH <sub>3</sub> mg/l
Sivaks	0,8	5	4	2
Takrør	0,6	22	8	5
Dunkjevle	0,3	30	6	18
Filterbed uten vegetasjon	0	36	6	22

Biologisk oksygenforbruk (BOF). Totale mengde suspenderte partikler (*solids* på engelsk) (TSS). Kvalitet på utløpsvann (mg/l) i relasjon til innkommet avløpsvann: (BOF = 118 mg/l, SS = 57 mg/l, NH<sub>3</sub> = 25 mg/l)

Tabellen viser resultat av forsøk i et pilotsystem i Santee, California. Her fremkommer korrelasjoner mellom planterøttens utvikling og rensesevne. Rotdybde i tabellen regnes som forventet maksimal vekst. Hvis vegetasjon utgjør anleggets hovedkilde for oksygen, som kan medføre en optimalisering av nitrifikasjonsprosesser, bør ikke filterbedets dybde overgå potensielle rotutvikling hos valgte planteart. En slik tilpasning vil sikre oksygentilgang i filterbedet, men krever jevnlig ettersyn for å kontrollere at røttene når tilstrekkelig dypt (Reed 1993).

Basert på Reed (1993). Tabell 4-12 Performance of Vegetated and Unvegetated Subsurface Flow Wetland Beds. *United States Environmental Protection Agency* 832-R-93-008: 87.

Vannplanters funksjon, med hensyn til rensing av avløpsvann i konstruerte våtmarkssystemer, er omdiskutert.

"Undersøkelser av plantenes rolle, både i fullskala systemer og i laboratoriet, viser at planter kan ha en positiv effekt på nitrogenrensing, men har ingen dokumenterbar effekt på rensing av organisk materiale og fosfor" (Zhu 1998, Mæhlum og Stålnacke 1999 sitert i Jenssen et al. 2006).

Visse plantearters evne til å ta opp forholdsvis store mengder tungmetaller i sin biomasse er godt dokumentert. For opptak av tungmetaller som er akkumulert i industrielt avløpsvann regnes allikevel plantenes bidrag som uvesentlig. I slike tilfeller dreier det seg da også om særlig store mengder forurensinger. Mulig planteopptak vil her kun utgjøre en brøkdel av innholdet av tungmetaller. I slike situasjoner kan plantebaserte systemer være aktuelle i kombinasjon med andre rensemetoder (Stottmeister et al. 2003).

I følge Brix (1997) er plantenes viktigste rolle i forbindelse med rensing av avløpsvann de fysiske egenskapene. Planterøttene stabiliserer og binder jordmediet de vokser i og motvirker derved erosjon og avrenning av næringsalter. Samtidig virker rotsonen som et filter. Vegetasjonens øvrige innvirkning på renseprosessene varierer etter individuelle egenskaper og systemdesign. Ettersom våtmarksplanter regnes for å være produktive, kan også større mengder næringsstoffer bindes opp i plantenes biomasse. Brix (1997) hevder at plantene allikevel ikke bidrar til binding av næringsstoffer i vesentlig grad. Årsaken er at næringsstoffene som høstes ikke står i forhold til mengden næringsstoffer i avløpsvann som tilføres systemet.

Stottmeister et al. (2003) påpeker at transformasjon og mineralisering av næringsstoffer og organiske miljøgifter i våtmarkssystem først og fremst kan knyttes til mikrobiell aktivitet. Hovedvekten av næringsopptaket skjer ved nitrifikasjon, denitrifikasjonsprosesser og fosforbinding i jordmediet. I følge Jenssen & Mæhlum (Jenssen et al. 2006) er lagstrukturen i porøse media mer betydningsfull enn plantene når det kommer til opptak og omdanning av næringsstoffer. Jenssen et al. (2006) hevder at man like gjerne kan benytte gress i slike rensesystem. Bruk av gress øker muligheten for å anlegge naturbaserte rensesystem i områder med kaldt klima. Det eksisterer et mangfold av gressarter, og gressbaserte system kan også fremstå som opplevelsesrike tilskudd i landskapet.

Stottmeister et al. (2003) konkluderer med at detaljert kunnskap om effekten av planters renseseenskaper, mikroorganismers koloniseringsmønstre, samt hvordan organiske forbindelser og forurensende partikler i avløpsvannet interagerer med filtermassene, er en forutsetning for et vellykket våtmarksdesign.

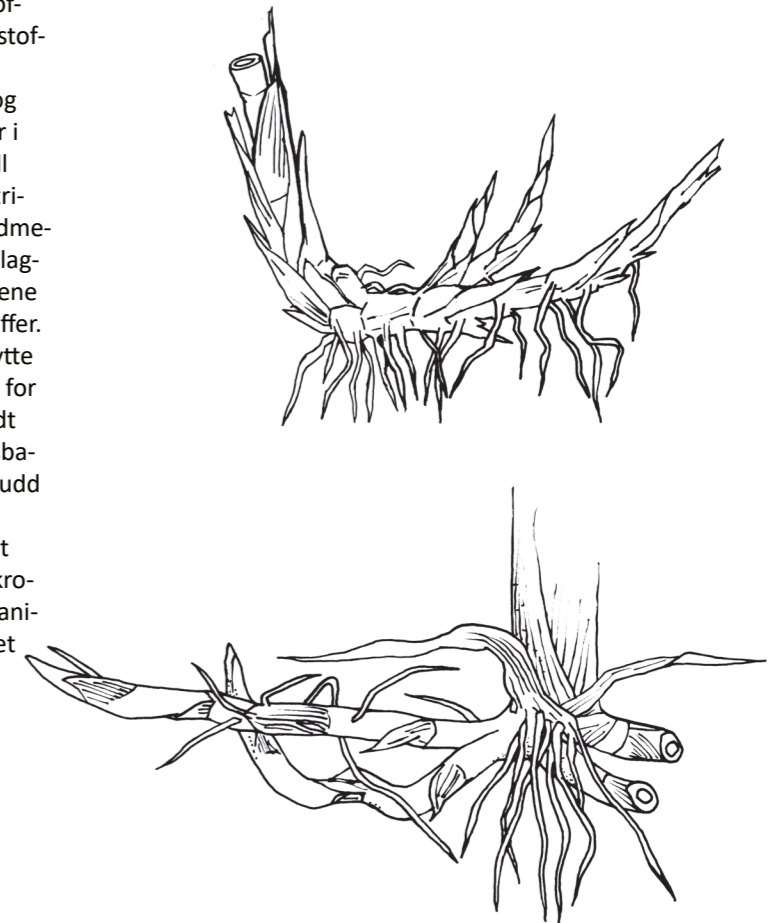
#### Boks 2.1 – The Rhizosphere

"One important aspect of the complex processes taking place in the rhizosphere is the interaction between roots/rhizomes and the soil matrix. The soil is the main supporting material for plant growth and microbial films. Moreover, the soil matrix has a decisive influence on the hydraulic processes.

Both chemical soil composition and physical parameters such as grain-size distributions, interstitial pore spaces, effective grain sizes, degrees of irregularity and the coefficient of permeability are all important factors influencing the bio treatment system.

These physical parameters indicate certain hydraulic states of the soil and considerably influence the flow of wastewater in constructed wetlands—and ultimately the removal of contaminants.

Root growth affects the physical (hydraulic) quality of soils. On the one hand, roots and microbial biomass clog up soil pores, but on the other hand, root growth and the microbial degradation of dead roots cause the formation of new secondary soil pores" (Stottmeister et al. 2003).



Figur 2.15 – Hule røtter. Våtmarksplantene takrør og dunkjevle har hule røtter. Egenskapen bidrar til utveksling av oksygen mellom planter, jordmedium og vannmasser.

Illustrasjon: Elin T. Sørensen 2008.



#### 2.4.6 Planlegging og etablering av naturhermende biotoper

Fra 2001 brukes *VA/Miljø-blad nr. 49: Våtmarksfiltre* (NFK & NORVAR 2001) som veileder for dimensjonering av konstruerte våtmarkssystemer som bygges i Norge. Ettersom anleggets hovedfunksjon er å rense avløpsvann, fokuseres det her først og fremst på jordtekniske aspekter og hvordan man kan oppnå best mulig renseevne.

De konstruerte våtmarkssystemene utformes, naturlig nok, på grunnlag av funksjonen renseevne. Vegetasjonsoppbygging, landskap og estetikk har en tendens til å komme i annen rekke. Konstruerte våtmarksanlegg har potensial til å fylle mange funksjoner som eller i et grøntanlegg. Innslag av vann sammen med variert og flersjiktet vegetasjon, bidrar til økt opplevelsesverdi og bedre livsbetingelser for fugler, insekter og amfibier.

Braskerud (2001) fremhever konstruerte våtmarkssystem som berikende for kulturlandskapet. Han henviser til internasjonale og nordiske undersøkelser hvor høy biodiversitet er registrert i slike anlegg. Variasjoner i vannstand, bunnforhold, topografi og vegetasjonsstruktur er noen faktorer som bidrar til mangfold i et konstruert natursystem. For å oppnå mer robuste konstruerte rensesystemer kan naturlige våtmarker innenfor samme nedbørsfelt være en god referanse.

Generelt sett anbefales det at etablering/restaurering av nye blågrønne innslag sees i sammenheng med eksisterende blågrønn struktur (Dramstad et al. 1996; Environmental Law Institute 2003; Nyhuus 2000; Skrindo 2008). Ved å herme naturlige nabosystemer kan man oppnå plantesamfunn med samme struktur og interne dynamikk. Analyser av nærliggende naturlige økosystem bør inngå som ledd i planlegging av konstruerte rensesystemer. Tilstøtende parker,



Figur 2.16 – Naturhermende biotoper

Takrørbestanden i den konstruerte våtmarken tilknyttet Dal skole i Nordre Frogner er overtatt av brennesler og tistler (øverst t.v.). Renseanlegget ligger i skolegårds utkant og er avgrenset av hekker med søtmispel og rynkerose. Anlegget kunne fått et rikere uttrykk hvis utbygger hadde latt seg inspirere av stedegen natur som kantvegetasjonen ved Årungen med takrør og sjøsvaks (øverst t.h.), svartor og mjørdurt (nederst t.h.). I bydelen *Västra Hamnen* (2000) i Malmö består parkanlegget, blant annet, av naturhermende biotoper. Bildene (neste side) viser en biotop med oretrær som omkranser kattehale og fuktelskende gressarter. Konstruerte naturinnslag er opplevelsesrike læringsarenaer, og er like aktuelle ved utdanningssteder som i boligområder.

Foto: Elin T. Sørensen 2008 og 2007.

kulturlandskap, skogsbyrn og særlig vannkanter er nyttige referanser.

Naturlige vannplanter har potensial til å etablere seg bedre i konstruerte anlegg enn innførte vekster. Tilfang av frømateriale fra nærområdene føres via vannmasser eller spres med vinden. Hvis det konstruerte systemet anlegges med nærhet til naturlig sump og vann er det, i følge restaureringsøkonom og planteforsker Skrindo (2008), ikke nødvendig å plante inn arter. I tillegg kan kanter og teskler i det konstruerte våtmarkssystemet bygges opp av jordmasser hentet fra naturlige nabosystem. Stedegne jordmasser inneholder naturlige frø som vil etablere seg bedre enn innplantede arter. Tilnærmingen har vist seg gunstig i etableringen av fangdammer i nærheten av Årungen, på Ås. Her har vannkantvegetasjonen utvidet seg slik at fangdammene i dag oppleves som en naturlig del av omgivelsene. Det er mest hensiktsmessig å benytte naturlig vegetasjon nær naturområder og kulturlandskap. I byområder vil naturlig etablering ta lengre tid og kan medføre mye ugress (Skrindo 2008).

Både størrelse og systemenes kritiske terskelnivåer har betydning for artssammensetning og deres relasjon til øvrig miljø. Størrelse vil alltid være en begrensende faktor i oppbygging av naturhermende systemer.

For å oppnå stabile natursystemer bør det etableres et *kjerneområde* som er tilstrekkelig for aktuelle arter. Kjernen bør beskyttes av kantvegetasjon som danner en nødvendig *bufferzone*. Hvis kjerneområdet er for lite kan den såkalte *kanteffekten* bli for stor. Det vil si at arter som er tilpasset kantsonen kan invadere arter i kjerneområdet. Kanteffekten gir redusert beskyttet leveområde for spesialiserte arter som krever et beskyttet miljø. Konsekvensen er at systemet ikke rekker å bli stabilt nok. Etablering av bufferzoner mellom



ulike vegetasjonssystemer kan bidra til å redusere mulig negativ innflytelse fra tilstøtende omgivelser. Størrelsen på buffer må tilpasses lokal artssammensetning og stedlige forutsetninger (Dramstad et al. 1996; Environmental Law Institute 2003).

Reed (1993) påpeker at biotophermende metoder har visse begrensninger: “[...] *there have been some attempts to create plant diversity similar to that present in a natural marsh; this approach is more expensive and the intended diversity can be difficult to maintain [...]*”.

I den nye bydelen *Västra Hamnen*, som er etablert på et nedlagt industrifelt i Malmö, er det gjort forsøk med biotopherming. Innslagene er for små til å fungere optimalt som økosystem, og opprettholdelsen av naturlig diversitet har vist seg vanskelig (Emilsson 2007). Allikevel gir de naturhermende biotopene en rikere landskapsopplevelse rent utformingsmessig: Muligheten til å kunne gå inn i et rom av vill natur gir en svært interessant opplevelsesmessig kontrast til bydelens øvrige arkitektur og parkanlegg.

Faglitteratur om vegetasjonens rolle i konstruert våtmark omtaler også effekten av *monokultur* versus *variasjonen i naturlige biotoper*. Karathanasis et al. (2003) har studert forskjeller mellom våtmarkssystem basert på samplanting av vannplanter og monokultur av gress. Samplantingen ga mest stabil renseevne gjennom året, mens de gressbaserte systemene var mer ustabile. En årsak kan være at plantemangfold gir variert rotsonestruktur og bedre livsbetingelser for mikroorganismer. Forskerne konkluderer med at sammensatte plantekulturer gir mest stabil renseseffekt for alle rensesystemer. I tillegg påvirkes varierte systemer mindre av årstidsvariasjoner (Karathanasis et al. 2003).



#### 2.4.7 Skjøtsel av våtmark

Utarbeidelse av generelle planleggings- og skjøtselskriterier er nyttig både i etablering og drift av plantebaserte rensesystemer. Ettersom utformingen av anlegg varierer etter lokale forhold, må kriteriene tilpasses hver enkelt situasjon. Reed (1993) anbefaler jevn skjøtsel som tynning og lusing i vekstsesongen, og understreker at dette er spesielt viktig de første driftsårene. Han nevner at en kortere periode med høy vannstand i filterbedet, rett etter utplantning, kan være et forebyggende grep mot ugress. Tiltaket skal også ha positiv virkning på sumpplantenes rotutvikling. Videre hevdes det at rutinemessig årlig høsting av plantene ikke er hensiktsmessig. Jenssen et al. (1992) anbefaler heller ikke høsting av vegetasjon i våtmarksfiltre: “*Visnet plantemateriale utnyttes isteden som isolerende lag i vintersesongen*”.

Skrindo (2008) anbefaler at det settes enkle, målbare kriterier for skjøtsel av plantebaserte rensesystemer. Kriteriene bør settes ut fra økologisk effekt snarere enn ut fra et fastsatt tidsfestet mønster. Anleggene bygges i henhold til spesifikke renserelevante, og valg av rensemetode har derfor direkte innflytelse på anleggsskjøtsel. Vegetasjon i våtmarkssystem plantes gjerne ut i rader slik at det blir en veksling mellom dypere og grunnere vannstand i filterbedet. Vann søker alltid letteste vei. Ved for tett vekst kan vannet stue seg opp som en kanal mellom plantene, noe som er ugunstig for en nødvendig jevn vanngjennomstrømning i plantenes rotsone. I slike tilfeller bør plantene klippes ned, eller rives opp fra bunnen, slik at det blir bedre plass for naturlig spredning.

Ulike utformingskriterier gjelder for fjerning av nitrogen og/eller fosfor. Pernholm (2008) viser til studier utført ved Universitetet i Linköping, som viser at 80 prosent av nitrogenet forsvinner via denitrifikasjonsprosesser og at 20 prosent optas i plantene. I anlegg designet for høy nitrogenfjerning bør systemet konstrueres i henhold til nitrifikasjonsprosesser. Plantematerialet utgjør en karbonkilde som er av betydning for denitrifikasjonsprosessene. For effektiv nitrogenfjerning bør plantene verken høstes eller fjernes. For mest mulig kontinuitet i systemet anbefales det å la plantene stå i fred i 10-20 år. Samtidig påpeker Pernholm (2008) at planter utvikler seg forskjellig i ulike deler av våtmarkssystemet. I damanlegg er det mer vanlig å fjerne invaderende arter for å hindre gjengroing. Over tid er det ikke uvanlig at aggressive arter, som takrør, kan utkonkurere andre arter.

Så fremt det ikke går på bekostning av vanngjennomstrømning, er ikke gjengroingsproblemet like prekært i konstruerte våtmarkssystemer. Her bør lusing skje vekselvis på deler av arealet, slik at anlegget ikke fremstår som ribbet for vegetasjon. Det anbefales at 1/3 av vegetasjonen fjernes og at resterende 2/3 får stå. I henhold til studiene ved Universitetet i Linköping anbefales det å bytte ut plantemateriale ca hvert 10. år. Det bør skje ved at 1/3 av vegetasjon fjernes en gang i året over en periode på tre år. Med denne formen for skjøtsel vil filterbedet alltid har en andel av godt etablert vegetasjon.

Bruk av blomstrende planter kan føre til økt behov for ettersyn og skjøtsel. Blomstrende planter er ofte mindre robuste, og visnet plantemateriale går lettere i oppløsning under fuktige forhold. Dette kan medføre gjentatt filterbed, som igjen leder til opphopning av vann. Blomstrende planter kan også ha uheldig effekt, ettersom de visner ned

om høsten og bidrar til mer næringsstoffer i vannmassene. Når plantene visner reduseres karbontilførselen som er mer stabil hos gress og sivarter. Videre kan uønsket algevekst ha sammenheng med vannstand og tilførsel av næringsstoffer i systemet. Alger krever næring og varme. Grunt og stillestående vann kan derfor gi økt algevekst. Lufttrapper eller andre tiltak som skaper bevegelse i vannmassene virker forebyggende (Pernholm 2008; Reed 1993).

For mer informasjon om naturbaserte rensemetoder:

- *Naturbasert rensing av avløpsvann – en kunnskaps-sammenstilling med hovedvekt på norske erfaringer* (Jenssen et al. 2006)
- *Småskalig avlopsrensing: en eksempelsamling* (Johansson & Johansson 2002)
- *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants* (McCutcheon & Schnoor 2003)

Tabell 2.4 – Oppsummering av plantenes rolle i konstruert våtmark  
Basert på Brix (1997). Do macrophytes play a role in constructed wetlands?  
*Water Science and Technology* 35:1997

Voksested	rolle og funksjon
Planter som vokser på bakken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• skygger vannoverflaten og reduserer uønsket algevekst</li> <li>• virker isolerende om vinteren</li> <li>• virker positivt på mikroklima</li> <li>• reduserer vindhastighet</li> <li>• bidrar til midlertidig opptak av næringsstoffer</li> <li>• estetisk opplevelsesverdi</li> </ul>
Planter som vokser i vann og vannkant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• filtrerer ut kvist, blader og større fragment i vannflaten</li> <li>• utsondrer fotosyntetisk oksygen som øker aerob nedbrytning</li> <li>• bidrar til midlertidig opptak av næringsstoffer</li> <li>• estetisk opplevelsesverdi</li> </ul>
Røtter/rotsone som når ned i bunnsedimentene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gir større areal for utvikling av biofilm</li> <li>• stabiliserer sedimentoverflaten og reduserer erosjon</li> <li>• forebygger tiltetning av rensemasser i våtmarkssystem med vertikal vannstrøm</li> <li>• utsondrer oksygen som øker nedbrytnings- og nitrifikasjonsprosesser</li> <li>• utsondrer antibiotika</li> <li>• bidrar til midlertidig opptak av næringsstoffer</li> </ul>

#### Boks 2.2 – Betydningen av biologisk mangfold

Mennesker er en del av økosystemene, og er avhengig av at de fungerer. Økosystemene forsyner oss med tjenester som rent vann, mat, oksygen, drikke, ved og byggematerialer. De bidrar også til å forhindre erosjon og binde CO<sub>2</sub>. Naturen har også verdi for oss gjennom rekreasjon og opplevelser. Samtidig er biologisk mangfold viktig for at naturen selv kan tilpasse seg klimaendringer. Et rikt mangfold er derfor naturens egen livsforsikring.

Kilde: *Klimaendringer - Hva skjer med naturen og hva kan vi gjøre?* Direktoratet for naturforvaltning 2008.



#### *Butomus umbellatus* (brudelys)

Vanlig plante ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. Brudelys etablerer seg naturlig ved elver, stille sjøer og tjern i både næringsfattig- og næringsrikt vann. Blomstrer på forsommer frem til ettersommer. Brudelys er sjelden, her fra damanlegget ved Vidaråsen landsby.

Foto: Elin T. Sørensen 2008.

Tabell 2.5 – Gress og stauder som er vanlige i konstruert våtmark og damanlegg

Kartlegging er basert på Browne & Jenssen 2005 (BJ); Hjelmstad 2008 (H); Jenssen et al. 2006 (J); Lid et al. 2005 (L); McCutcheon & Schnoor 2003 (MS); Reed 1993 (R); Stottmeister et al. 2003 (S).

Art	Funksjon og bruk	Økologi og egenskaper	Krav til voksested	Anskaffelse	Annet
<i>Phragmites</i> spp. (takrørarter)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark for rensing av avløpsvann fra husholdninger og industri. Oksygen tilføres renseprosessen via plantens grove og hule jordstengel. Takrør tåler høye næringskonsentrasjoner og klarer å vokse over et pH-intervall fra ca 2–12 (J). Biomasse kan høstes og nyttes til drivstoff, fiber og papirproduksjon. Tar opp tungmetaller; biosorpsjon ved rotsonefiltrering (MS: 27, 88, 102). Egner seg i system hvor lav vedlikeholdsinnsett er ønskelig (R).	Takrør er den største arten innen grasfamilien i Norge. Flerårig. Blir 1-4 meter høy. Har grov jordstengel. Frø spres med vind. Blomstrer midt- til seinsommer (L: 1035). Ulike deler av planten har vært brukt til nytteformål og i folkemedisin (H).	Etablerer seg i sump, myr og ved vannkant. Er lite næringskrevende og sprer seg lett. Kan bli ugressaktig. Vanlig i lavlandet og dalfører nord til Vesterålen til 870 m.o.h. Mer sjelden i indre strøk og i nord. Har kosmopolittisk utbredelse i mange raser (L: 1035).	Kan høstes fra naturlig lokal bestand. Vegetasjonsmatter og pluggplanter formidles av: <a href="http://www.vegtech.se">www.vegtech.se</a> <a href="mailto:info@vegtech.se">info@vegtech.se</a>	Rhizomene virker bl.a. mot astmatiske lidelser. Virker febersenkende, hostedempende, urindrivende, beroligende magestyrkende (H).
<i>Scirpus</i> spp. (sivaksarter)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. Oksygen tilføres renseprosessen via plantens hule jordstengel. Renser vann forurenset med eksplosiver som TNT, RDX, HMX i samplanting med andre arter med samme egenskap. <i>S. cyperinus</i> nevnes spesielt (MS: 487, 403-404 vdr. HMX og RDX, 450).	Flerårig mattedannende gress med grove, krypende jordstengler. Frøer seg midt- og seinsommer. Vokser i sumpskog, kilder, grøft og vannkant (L: 954). Kan oppta store mengder jordvann via røttene og har høy evapotranspirasjonsevne (MS: 237, 758).	Etablerer seg i næringsrikt vann og jordsmonn. Vanlig på Østlandet, med nordre grense ved Røros 650 m.o.h. Nemoral til Sør- og Mellomboreal sone (L: 954).	Som over.	
<i>Glyceria maxima</i> (kjempesøtgras)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. Reduserer sykdomsfremkallende organismer (S: 17).	Flerårig gress. Blir 1-2,5 meter høy. Har mattedannende krypende jordstengler. Frøer seg midt- og seinsommer. Naturalisert i sump, vannkant, på grunt vann, i grøfter og i kanten av våt kulturreng (L: 1103).	Etablerer seg i næringsrikt vann og jordsmonn. Vanlig på Østlandet, med nordre grense ved Steinkjer. Nemoral til Boreo-nemoral sone (L: 1103).	Som over.	
<i>Carex</i> spp. (starrarter)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. <i>C. vulpinoidea</i> tar opp eksplosiver i samplanting med andre arter med samme egenskap (MS: 487).	Flerårig gress. Danner matter eller tuer av strå i rekker. Har krypende jordstengler (L: 960).	<i>Carex</i> spp. omfatter en stor slekt av arter med ulike krav til voksested og klima. Slekten er inndelt i fem grupper. Et utvalg fuktelskende: <i>C. cespitosa</i> , <i>C. elata</i> , <i>C. acuta</i> , <i>C. aquatilis</i> ssp. (jfr. L: 960-1021).	Som over.	
<i>Juncus</i> spp. (sivararter)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses.	Flerårig gress med enkelte ettårige arter. Snau vekst, opp til 1 meter. Sper seg ved vindpollinering. Artene kan vokse i mange ulike jordsmonn, og generelt i fuktig miljø (L: 923).	<i>Juncus</i> spp. omfatter en stor slekt av arter med ulike krav til voksested og klima. Mange arter tåler både tørre og fuktige voksesteder. Et utvalg fuktelskende: <i>J. filiformis</i> , <i>J. foliosus</i> , <i>J. bulbosus</i> , <i>J. articulatus</i> (L: 923-934).	Som over.	
<i>Typha</i> spp. (dunkjevlearter)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. Oksygen tilføres renseprosessen via plantens grove og hule jordstengel. Plantens biomasse kan høstes og nyttes til drivstoff, fibermasse og papirproduksjon. <i>T. latifolia</i> tar opp metaller ved rotsonefiltrering. Opptak, transformasjon og nedbrytning av saltforurensinger skjer i rotsonen i jord- og vann forurenset av utslipp fra industri. <i>T. angustifolia</i> opptar eksplosiver i samplanting med andre arter med samme egenskap (MS: 27, 88, 462, 487, 883).	Flerårig vann- og sumpplanter. Blir 1-2 meter høy. Vindpollinering- og spredning midt- og seinsommer. Vokser i sjøkant, ved tjern og grøfter (L: 877).	Etablerer seg oftest i næringsrikt vann, men også næringsfattig- og brakkvann. Nemoral til Sør- og Boreonemoral sone. Sirkumboreal i flere raser (L: 877).	Som over.	
<i>Iris pseudacorus</i> (sverdlije)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. Renser vann forurenset med eksplosiver som TNT (MS: 411, 415-418, 791, 795).	Flerårig staude. Blir 0,5-1,2 meter høy. Har krypende jordstengler. Frø spres med vannmasser på forsommer til midtsommer (L: 889).	Etablerer seg i sump, grunt vann og ved vannkant i næringsrikt vann. Vanlig i kyst og dalsøkk opp til 560 m.o.h. Nemoral til Mellomboreal sone (L: 889).	Som over.	
<i>Mentha aquatica</i> (vassmynte)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses. <i>M. aquatica</i> bidrar til økt nedbrytning av bakterier og reduksjon av sykdomsfremkallende organismer (MS: 330; S: 17).	Flerårig urt. Blir 30-60 cm høy. Planten sprer seg med over- og underjordiske utløpere. Kan bli ugressaktig. Hele planten har utpreget mintlukt (L: 677; H).	Etablerer seg i fuktig rik lauskog, sump, vannkant og grøfter, ofte på næringsrik grunn. Sjelden i kyststrøk. Blomstrer midt- til seinsommer. Nemoral til Boreonemoral sone (L: 677).	Kan høstes fra naturlig lokal bestand.	Virker bl.a. fordøyelsefremmende, er antiseptisk, bakterie- og virushemmende (H).
<i>Acorus calamus</i> (kalmusrot)	Nyttes ved damanlegg og i konstruert våtmark hvor avløpsvann renses.	Flerårig urt. Blir 0,6-1,50 meter. Har tykk, krypende jordstengel (rhizom) med sterkt aromatisk lukt og smak. Blomsterstanden er grønn og blir 6-8 cm lang. I Norden finnes bare hunnplanter. Plantene setter derfor ikke frø her (H).	Naturalisert i grunt vann og sump på næringsrik grunn. Spredt på Østlandet opp til Gausdal. Sjelden i kyststrøk. Blomstrer midt- til seinsommer. Nemoral til Boreonemoral sone (L: 881).	Kan høstes fra naturlig lokal bestand.	Er brukt mot fordøyelsesplager, hoste, hudplager, feber m.m. (H).
<i>Potamogeton natans</i> (tjørnaks)	Nyttes i damanlegg for rensing av avløpsvann. Opptak, og nedbrytning av metall-forurensinger som kobber og sink (MS: 12). Plantens bladmasse gir skygge til vannflaten og reduserer uønsket algevekst (BJ).	Flerårig vannplante med flyteblad. Stengel kan bli opp til 2-4 meter (L: 867).	<i>Potamogeton</i> spp. omfatter en stor slekt av vannplanter som vokser helt ned i vannet eller med flyteblad. <i>P. natans</i> etablerer seg ved tjern og sjøer. Er lite næringskrevende. Vanlig i det meste av landet, sjeldere i Troms og Finnmark. Blomstrer midt- til seinsommer. Nemoral til Boreonemoral sone (L: 867-875).	Kan høstes fra naturlig lokal bestand.	
<i>Lemna minor</i> (andemat)	Nyttes i damanlegg for rensing av avløpsvann. Bryter ned organiske fosforforbindelser og akkumulerte metall-forurensinger (MS: 173-174, 898). Plantens bladmasse gir skygge til vannflaten og reduserer uønsket algevekst. Biomasse kan komposteres og brukes som jordforbedringsmiddel (BJ).	Frittflytende flerårig vannplanter. Formerer seg ved knopp-skyting. Sprer seg med vannmassene og fugler. Døde planter synker til bunn om høsten. (L: 883).	Etablerer seg i vannpytter, tjern og grøfter i næringsrikt vann. Vanlig på Østlandet til Lillehammer til 310 meter i Ringsaker, samt i kyststrøk. Blomstrer midt- til seinsommer. Nemoral til Sørboreal sone. Kosmopolitt (L: 883).	Kan høstes fra naturlig lokal bestand.	Virker bl.a. urindrivende, febersenkende, klødedempende og astringerende. Planten inneholder opptil 45 prosent protein, noe som gjør planten interessant for matproduksjon (H).

Akershus  
**AMTSTIDENDE**

torsdag 29. april 1999

LOKALAVISEN FOR FROGN, NESODDEN OG ÅS

Nr. 81. Løssalg kr 10,-

# Vant en halv seier



Publiser for  
 angvei  
 ings rv 152  
 ● SIDE 13



Forberedt  
 på 1. mai-  
 tatta  
 ● SIDE 8



FOTO: THERESE KOPPANG

De kom med «Kloakkbussen», så Høyre tale deres sak, og vant en halv seier, forkjemperne for alternative avløpsløsninger på Brevik og Dal. Utvalget for Kultur og miljø i Frogn behandlet kommunedelplanen for vann og avløp i Bunnefjordområdet i går.

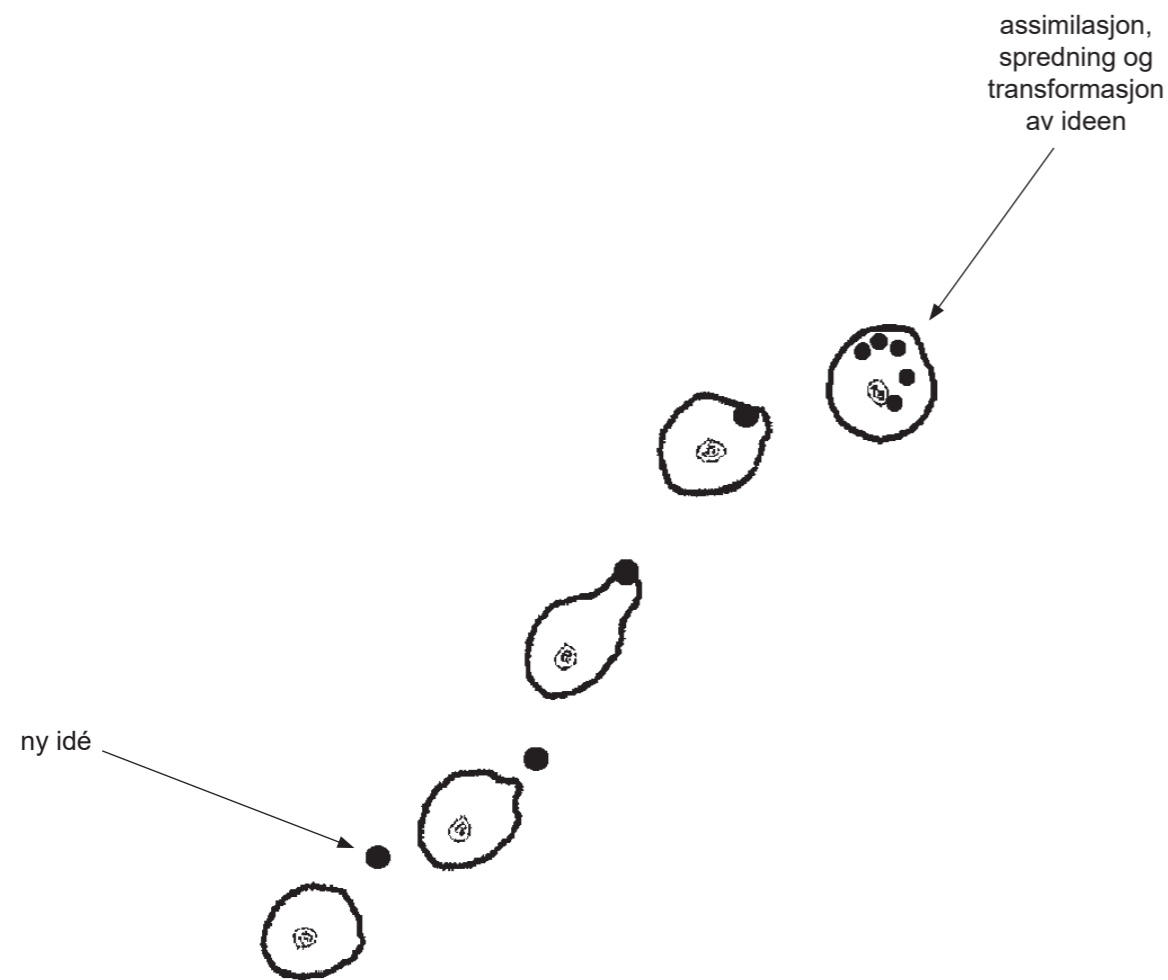
Flertallet (H, V og en uavhengig) gikk for å utrede naturbaserte løsninger. Mindretallet (Ap og KrF) gikk inn for å overføre kloakken til rensesanlegget på Skiphelle.

● SIDE 7

Figur 3.1 – Kloakkbussen

Kloakkbussen transporterte forkjemperne for naturbaserte avløpsløsninger i Frogn kommune til ulike avløpsrelaterte events i perioden 1999-2002: Femti deltakere fulgte avstemning om kloakksaken på åpent møte i Frogn Rådhus 28. april 1999. Neste tur gikk 31. mai 1999. Den 14. juni 1999 fraktet bussen på ny engasjerte innbyggere til rådhuset i sammenheng med vedtak om utredning av naturbaserte rensaneanlegg i kommunen. To år senere, den 25. april 2001, satte 60 deltakere seg på Kloakkbussen for en omvisning på det kretslopsbaserte rensaneanlegget tilknyttet Kaja studentboliger, NMBU Campus Ås.

Kilde tekst: Dammann & Leer-Salvesen (2002). *Kampen om kloakken*. Egen utgivelse 2002. Foto av Kloakkbussen var på forsiden av lokalavisen *Akershus Amtstidene* 29. april 1999.



**Figur 3.2 – Kulturelle endringsprosesser**

Forholdet mellom en nyvinning og en innarbeidet kultur er dynamisk. En innovasjon kan ha en kompleks form i starten som etter hvert tilpasses brukerne: "Det nye oppstår på utsiden av den kulturelle amøbens membran, og kulturamøben tiltrekkes av den nye ideen som om det var et måltid. Er nyvinningen attraktiv nok vil kulturamøben følge etter ideen og ta den opp i seg" (Atkisson 1999).

Atkissons kulturamøbe, eller endrings anatomi, bygger på Rogers innovasjon-diffusjon modell fra 1962. Rogers kommunikasjonsteori setter samfunnsutviklingen på spissen. Den gir et karikert bilde på hvordan et nytt konsept brynes og formes – går fra ukjent til kjent – før det (kanskje) ender opp som en integrert del av folks hverdag. *Innovatøren(e)* er de som initierer det nye. *Innovatøren(e)* befinner seg gjerne utenfor mainstream. Eller de er ikke i stand til å formidle eller få gjennomslag for sin sak overfor almenheten. *Innovatøren(e)* er avhengig av *endringsagenter* som kan promotere og oversette det nye: "Folk endrer ikke livsstil på grunnlag av data. De gjør det gradvis når de ser at noen de stoler på har gjort det før dem" (Atkisson 1999). *Endringsagenten* evner å bevege seg mellom innovatørens ekspertregime og en mer praktisk rettet almenhet. *Endringsagentene* henvender seg først til folk som hos Rogers (2005) kalles *early adopters*, og av Atkisson *transformators*. *Transformatørene* er villige til å prøve ut det nye, såfremt det ikke går ut over deres posisjon eller anseelse. Hvis en *transformator*, med en viss respekt i samfunnet, aksepterer nyvinningen er den garantert å nå frem til majoriteten i et gitt sosialt system. Gruppen av folk som er fornøyd med status quo og tar inn nyvinningen sent og/eller motarbeider den, kalles *sinker* eller *reaksjonære*. *Transformatøren* modifierer gjerne konseptet for å oppnå majoritetens aksept og et mer anvendbart produkt. Til sammen bidrar alle parter til *kulturell endring*.

Kilde: Atkisson (1999). *Believing Cassandra an Optimist Looks at a Pessimist's World*. Chelsea Green Publishing, 1999; Rogers (2005). *Diffusion of Innovations*. 5th Edition. The Free Press, NYC 2005.

### 3.1 UTVIKLING AV TEMAARK FOR NATURBASERTE RENSEMETODER

Mye fagstoff om naturbaserte rensesmetoder er teknisk og naturfaglig basert, og valg av egnet løsning krever grundig kjennskap til stedlige forutsetninger. Uten ingeniørfaglig bakgrunn kan nødvendig orientering om aktuell teknologi, framgangsmåte og regelverket rundt etablering av naturbaserte anlegg oppleves som ganske uoverkommelig. Per i dag (2010) foreligger heller ingen veiledere eller retningslinjer for skjøtsel og drift av plantebaserte renselanlegg.

Formidlingsmodellen **Naturbasert – temaark** er laget for å gjøre erfaringene rundt prosess og etablering av naturbaserte renselanlegg mer tilgjengelig. Målgruppen er landskapsarkitekter, arkitekter, planleggere og kommunalt ansatte – uten kommunalteknisk og/eller ingeniørfaglig utdanning.

I valg av vurderingskriterier til **Naturbasert – temaark** er det lagt vekt på å finne veier til *hvordan tekniske forskningsresultater og komplekse sammenhenger kan formidles enklest mulig*. Den største utfordringen har vært å fremstille et såpass omfattende kunnskapsfelt på en *kortfattet og oversiktsmessig måte*. Formidlingsmodellen er brukt for å beskrive fire etablerte renselanlegg på Østlandet

Vurderingskriteriene bygger på en sammenligning av fire utgivelser om økologiske sanitærløsninger som inkluderer temaark. Rapporten *Økologisk renseteknologi* ble publisert av Jenssen et al. i 1992, mens Bioforsk sine temaark var nedlastbare fra februar 2008. Presentasjonene bærer selvsagt preg av det store tidsspennet i utgivelsesår. At det er gjort flere erfaringer på området kommer til uttrykk ved at de senere publikasjonene har en mer selvfølkelig holdning til metodens relevans. Temaarkene fra 2008 er digitalt fremstilt. Tilgjengeliggjøring av informasjon via nettbaserte formidlingskanaler bidrar til at stoffet når ut til et potesielt sett større publikum. Et annet fortrinn ved nettbasert kommunikasjon er muligheten til å fortløpende kunne lenke seg opp til relevant og oppdatert informasjon. Samtidig har de eldre, papirbaserte utgivelsene andre fordeler. Det er enklere å bla seg frem og tilbake i stoff som er samlet i bokform. Innføringene i økologisk renseteknologi, som gis innledningsvis i begge heftene, letter lesningen av etterfølgende temaark. Temaarkene har informasjon om spesifikk renseteknologi som gir økt forståelse om fagområdet. Det å lese fra papirutgaver fremfor å lese rett fra skjerm kan gi en mer konsentrert, og for noen mer behagelig, leseopplevelse.

**Naturbasert – temaark 1-4** beskriver fire anlegg på Østlandet som hver for seg representerer ulike tilnærminger til naturbasert avløpsrensing. Med unntak av informasjon om rensedammene ved Vidaråsen Landsby, var opplysninger om de tre andre prosjektene spredt mellom ulike fagfolk og institusjoner. Når det gjelder metoden konstruert våtmark, har det vist seg at kunnskap om vegetasjon og skjøtsel er lite tilgjengelig. Tre fagpersoner er derfor forespurt om dette tema spesielt. Diskusjon om plantebruk og skjøtsel er inkludert i kapittel 2.4 *Vegetasjon og vann* (s. 39-51).

Befaringer og intervjuene med involverte fagfolk var særskilt viktig for å høste erfaringer om respektive situasjoner og prosjekter. I kommende avsnitt presenteres prosessen bak utarbeidelsen av **Naturbasert – temaark 1-4**, sammen med en gjennomgang av publiserte temaark og oppsummering av intervjuer.

#### Boks 3.1 – Naturbasert – temaark bygger på sammenlignende studie av publikasjonene

- *Økologisk renseteknologi* (Jenssen et al. 1992)
- *Temaark renseløsninger* (Hensel et al. 2008b) nedlastbare fra [avlop.no](http://avlop.no)
- *Småskalig avloppsrensing: en eksempelsamling* (Johansson & Johansson 2002)
- *Temaark for ecosan prosjekt* (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ 2008) nedlastbare fra [gtz.de/ecosan/](http://gtz.de/ecosan/)

#### Boks 3.2 – Undersøkte anlegg på Østlandet

- **Rena rensespark** (temaark 1) – et relativt stort anlegg hvor avløpsvann infiltreres i stedege løsmasser via store åpne dammer
- **Vidaråsen Landsby** (temaark 2) – et mellomstort anlegg hvor akvatiske og jordbaserte rensesmetoder kombineres i et større damanlegg
- **Klosterenga Økologiboliger** (temaark 3) – et mindre desentralisert gråvannsrenseanlegg tilpasset en urban situasjon
- **Dal skole** (temaark 4) – et mindre desentralisert anlegg hvor blandet avløpsvann renses via konstruert våtmark med integrert biofilter

### 3.1.1 Økologisk renseteknologi – 1992

Økologisk renseteknologi (Jenssen et al. 1992) er resultat av et prosjekt i regi av Jordforsk (1991-1992), som ble realisert med midler fra Statens forurensningstilsyn (SFT). Rapporten skulle "gi en kortfattet oversikt over de ulike konseptene for økologisk avløpsbehandling, og gi et grunnlag for vurderingen om slike rensesystemer kan tilpasses norske forhold" (Jenssen et al. 1992). Økologisk renseteknologi reflekterer en forskende og forholdsvis ydmyk holdning til rensesystemenes antatte aktualitet, noe som tilsier at fagfeltet var på et nokså ungt stadium i Norge på tidlig 90-tall. Rapporten gir en lettfattelig innføring i økologisk renseteknologi, etterfulgt av en generell oversikt om økologiske rensesystemer. Det er laget en mal med kriterier for vurdering og sammenlikning av ulike systemer som inkluderer temaene: økologi, renseevne, anleggets arealbehov, klima, bygging, driftsforhold, økonomi, bruk, anleggets levetid, erfaringer, samlet vurdering, utvikling og FoU-behov. Det gis både en kort kommentar til, og gradert vurdering av hvert tema (jf Tabell 1, Appendiks s. 80).

Rapportens modell for systembeskrivelser er gjenbrukt i flere norske forskningsrapporter (Jenssen et al. 2000; Jenssen 2005; Jenssen et al. 2006). Fremstillingsformen til Bioforsk sine Temaark for renseløsninger (avlop.no) ser også ut til å bygge på malen fra 1992. Hvert temaark er på 2-3 sider og omfatter varianter av jordbaserte metoder, jord- og plantebaserte metoder, akvatisk rensesystemer og to løsninger for kildeseparering av avløpsvann for henholdsvis spredte og tettbygde strøk. Hvert temaark innledes med en kort beskrivelse av rensesystemet som forklarer ytterligere ved en håndtegnet prinsippkisse. Beskrivelsene for den enkelte metode er av generell karakter, og det gis ikke eksempler på hvordan metoden kan integreres i et konkret landskap (jf Figur 3.3).

Temaarkene gir totalt sett en knapp, men relativt grundig oversikt. Illustrasjonene bidrar til å skape økt forståelse for de ulike systemene. Rapporten fokuserer på tekniske forhold som renseevne, dimensjonering og driftsmodus. Vegetasjon, landskap, estetikk eller sosiale aspekt er lite vektlagt.

### 3.1.2 Temaark renseløsninger – fra 2008

Nettstedet avlop.no formidler informasjon om mindre avløpsanlegg. Sidene retter seg i første rekke mot saksbehandlere i kommunene og privatpersoner som skal etablere desentralisert avløpsløsning. Temaarkene omfatter, per januar 2010, plansjer om åtte økologiske rensesystemer egnet for norske forhold.

Nettstedets hovedside inneholder mye bakgrunnsinformasjon om naturbaserte løsninger, og hvordan man bør gå frem i prosjektering og anlegging. Det gis også opplysninger om regelverk. Nettpresentasjonen er forholdsvis tettepakket med informasjon, og stoffet oppleves derfor som lite tilgjengelig. Sammenliknet med nettstedets hovedside kommuniserer de nedlastbare temaarkene bedre fordi fremstillingen er mer oversiktlig og kortfattet.

Hvert temaark kan lastes ned som PDF i A4-format og er på 3 sider. Beskrivelsene er av generell karakter og refererer ikke til stedlig situasjon. Vurderingskriteriene omfatter: dokumentasjonskrav, dimensjonering, utforming av anlegg, fordeler og ulemper ved anlegget og drift og vedlikehold.

Vegetasjon, landskap, estetikk eller sosiale aspekt er ikke vektlagt.

Hver anleggsbeskrivelse forklares med en teknisk prinsippkisse i form av en digitalt fremstilt 3D-modell. Illustrasjonene viser hvordan teknologien er integrert i bakken og tilknyttet byggets avløp og toalett. På denne måten blir det enkelt å forestille seg omfanget av inngrepet, og anleggets tekniske komponenter. Figurene bidrar derfor i stor grad til å tilgjengeliggjøre stoffet (jf Figur 3.4). Sammenliknet med rapporten fra 1992 er temaarkene fra avlop.no mer konkrete og dermed mer anvendbare.

### 3.1.3 Svensk eksempelsamling – 2002

Utgivelsen *Småskalige avloppsrening – en eksempelsamling* (Johansson & Johansson 2002) gir informasjon om tretten naturbaserte anleggstyper egnet for svenske forhold. Rapporten er utarbeidet av SweEnviro Consulting, på initiativ og i samarbeid med åtte svenske kommuner. Utgivelsen var motivert ut fra en økende utbredelse av naturbaserte rensesystemer i Sverige. Det var altså et behov, fra kommunenes side, om tilrettelegging av kommunikasjon mellom saksbehandlere og innbyggere som velger naturbaserte rensesystemer. Da utgivelsen kom ut, i 2002, fantes det ingen lovfestede regler for mindre kretsloppsbaserte rensesystemer. Kommunen hadde behov for å få en samlet oversikt over krav til og miljøpåvirkning av ulike systemer for økologisk rensing.

Innledningsvis gis en grundig og bred innføring i økologisk renseteknologi. Det redegjøres for avløpsvannets innhold og ulike rensesystemer samt forutsetningen for planlegging av slike anlegg. Muligheter og begrensninger ved gjenvinning og resirkulering av avløpsvann omtales, inklusiv en sammenlikning av avløpsprodukter med hensyn til mulig kretsloppsstrategi.

Bruk av tabeller for sammenlikning og oppsummering av viktige temaer gjør at det komplekse kunnskapsgrunnlaget fremstår oversiktlig. Eksempelsamlingen inkluderer i tillegg vedlegg med maler for sammenlikning av presenterte systemer, og liste med leverandører.

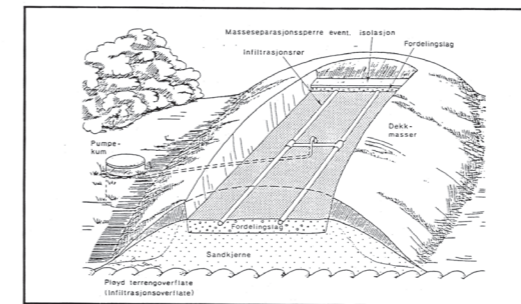
Temaarkene viser prinsipielle løsninger for mindre, enkeltstående rensesystemer med beskrivelse av: vurdering av systemløsning, muligheter for oppskalering, anleggets stabilitet, utstyrsbehov, smitteforebyggende tiltak, miljøhensyn relatert til utslipp, ressourshusholdning, anleggstekniske forutsetninger og dimensjonering og kostnadsberegning (jf Tabell 2, Appendiks s. 81). Hvert temaark er på 3 sider, og gir en kortfattet oversikt over tekniske og rensesystemspørsmål. Den svenske utgivelsen har større fokus på brukers hensyn og helsemessige aspekt enn forutnevnte norske temaark, men legger ikke spesielt stor vekt på vegetasjon, landskap eller estetikk.

Presentasjonsformen er nøktern. Hver rensesystemet forklares ved enkle håndtegnede prinsippkisser (jf Figur 3.5). Det er tilrettelagt for at temaarkene kan rives ut og samles i ringperm. Eksempelsamlingen kan dermed endres og/eller utvides i takt med oppdatert kunnskap, krav og regler.

### 1.1.3 Jordhaug-infiltrasjon

I jordhaug-infiltrasjonsanlegg pumpes avløpsvannet til perforerte infiltrasjonsrør og fordeles her ut i et sandlag (figur 4). Infiltrasjonen skjer i sand som er tilkjørt og plassert opp på det opprinnelige terrengnivå. Filtersand må benyttes og pakklaget dimensjoneres avhengig av filtersanden. Sandputens størrelse og utbredelse bestemmes av de hydrauliske egenskapene til de underliggende massene. Overflaten til de underliggende massene ployes opp. Rensingen skjer både i filtersanden og i de underliggende naturlige jordmassene. Vegetasjonen på jordhaugen vil bidra til evapotranspirasjon og oppatak av næringsstoffer.

#### Prinsippkisse



Figur 4. Snitt gjennom et jordhaug-infiltrasjonsanlegg.

Økologi	Resirkulering Ressursforbruk Kildebehandling Landskap	Små muligheter Lite Gode muligheter Gode muligheter
Renseevne	Fosfor Nitrogen Organisk materiale Suspendert stoff Patogene organismer	+++ ++(+) +++ +++ +++
Areal	Arealbehov Jord/løsmasser Konfliktgrupper	Stort Middels krav (jord kan tilføres) Noen (grunnvann)
Klima	Temperaturforhold	Liten betydning
Bygging	Dimensjonering Byggeanvisning	Norge Norge
Driftsforhold	Driftstilsyn Driftsstabilitet Forbehandling Slamproduksjon	Ekstensivt Robust system (uten overbelastning) Minimum slamavskilling Ingen (bortsett fra slamavskiller)

Økonomi	Etablering Drift og vedlikehold Kostnadseffektivitet	Middels - høye kostnader (som tradisjonelle RA) Lave kostnader Høy
Erfaringer	Utbredelse Karakter	Middels i USA og Canada Lite i Norge/Scandinavia Gode erfaringer (med rett jordtype og dimensjonering)
Bruk	Bruksområder Fleksibilitet Driftsmodus	Mange (husgrupper, turistbedrifter og mindre tettsteder) Stor (etterpolering) Hele året
Levetid	Hydraulisk Rensemessig	Lang Lang (avhenger av bindingskapasiteten)
Samlet vurdering		Jordhauginfiltrasjon kan brukes der stedegne jordmasser har for liten mektighet, eller for lav vannledningsevne til at et lukket infiltrasjonsanlegg kan bygges. Jordhauginfiltrasjon krever høy kompetanse ved dimensjonering og tilpassing. Utenlandske resultater viser at denne anleggstypen kan ha bedre renseevne enn lukkede infiltrasjonsanlegg. Dette skyldes blant annet at en utnyttet matjordlaget som rensesmedium. Matjordlaget har et høyt innhold av organisk materiale som binder miljøgifter og er karbonkilde ved denitrifikasjon. Anleggstypen kan optimaliseres for oppatak av næringsstoffer i planter ved å plassere anlegget oppstrøms en våtmark (f.eks. myr). Anleggstypen er ikke hjemlet i gjeldende retningslinjer. Fylkesmannens tilatelse må derfor innhentes før bygging.
Utvikling		Økende utbredelse i Norge.
FoU-behov		Jordhauginfiltrasjon er prøvd under norske forhold. Resultater fra systematisk oppfølging av drift og renseevne mangler.
Litteratur		ASAE 1991, Harkin et al. 1979, SFT 1986, MD 1992, Østerås 1985.
Engelsk terminologi		Mound system

Figur 3.3 – Temaark Økologisk renseteknologi oppslag om tema jordhauginfiltrasjon, 50 prosent forminsknet. Jenssen et al. (1992) s. 16-17.



Prinsippkisse av filterbedanlegg med slamavskiller, pumpekum, biofilter, filterbasseng og utløpskum.

### Filterbedanlegg som renseløsning - mindre avløpsrenseanlegg (<50 pe)

Guro Randem Hensel, Jens Chr. Køhler og Anders W. Yri  
Bioforsk Jord og miljø (www.bioforsk.no/jordmiljo)  
Kontaktperson: guro.hensel@bioforsk.no  
Januar 2008

Et filterbedanlegg (konstruert våtmark) er et plassbygd rensesystem bestående av prefabrikkerte kummer og filterbasseng med tilkjørt filtermasse. Anlegget etableres i stedlige masser og består av slamavskiller, pumpekum, vertikalkstrømmende biofilter med filtermasse, tett filterbasseng med tilkjørt filtermasse og utløpskum med muligheter for prøvetaking av renses avløpsvann. Filterbedanlegg krever et visst tilgjengelig areal for etablering av filterbasseng. Anleggstypen har imidlertid svært god renseevne både med hensyn til fosfor, organisk stoff og sykdomsfremkallende organismer og kan anbefales i de fleste områder.

#### Dokumentasjonskrav

Nytt avløpsregelverk i forurensningsforskriften trådte i kraft 1. januar 2007. Int. forskriftens kap. 12 (§12-10) skal det ved søknad om utslipps-tillatelse for filterbedanlegg dokumenteres at ankerkjent dimensjonering og utforming er benyttet. Dokumentasjonen skal utføres av nøytrale fagkyndige.

#### Nedenfor er det gitt forslag til utdyping av dokumentasjonskravene i forskriften:

1. Filterbedanlegg skal prosjekteres og bygges i samsvar med VA/Miljø-Blad nr. 49, Våtmarks-filtre. Alle avvik fra VA/Miljø-Blad skal oppgis.

2. Beregning av dimensjonerende vannmengde og beskrivelse av bebyggelsens art (bolig, hytte, bedrift etc.)
3. Prosjekteringsgrunnlag for anlegg som viser at slamavskiller, biofilter og fosforfilter er riktig dimensjonert, samt beskrivelse av hvordan biofilteret skal støtbelastes.
4. Beskrivelse av anleggets hovedkomponenter og lokalisering av disse på kart, herunder slamavskiller, pumpekum (støtbelastet), biofilter, fosforfilter, utløpskum og utløpsledning til vann/vassdrag. Filterdelene av anlegget bør være målsatt på kart i målestokk 1:2000 eller større.



5. Beskrivelse av hvordan anlegget skal frostisoleres.

6. Beskrivelse av hva som kreves av tilsyn og kontroll for å sikre stabil og sikker drift av det prosjekterte anlegget.

7. Dokumentasjon på at firma som er ansvarlig for prosjekteringen er nøytral fagkyndig og har den nødvendige kunnskap og kompetanse om filterbedanlegg.

**Dimensjonering**

I henhold til forurensningsforskriften kap. 12, §12-10, skal det dokumenteres at ankerkjent dimensjonering og utforming er benyttet ved etablering av rensesystem. Dimensjonering av filterbedanlegg er beskrevet i VA/Miljø-Blad nr. 49, Våtmarks-filtre. Størrelsen på biofilteret og filterbasseng bestemmes av dimensjonerende vannmengde (liter/døgn) og hydraulisk belastning ( $l/m^2/døgn$ ), samt filtermediets hydrauliske ledningsevne ( $m/døgn$ ) og fosforbindingskapasitet ( $kg\ fosfor\ per\ m^3\ filtermasse$ ). I henhold til forurensningsforskriften skal det dimensjoneres for maksimal ukebelastning i året.

**Dimensjonerende vannmengde (liter/døgn)** bestemmes ut fra antall personkvaliteter (pe) og spiltvannmengden per person per døgn. For små avløpsanlegg (<35 pe), er dimensjonerende vannmengde per enhet beskrevet i VA/Miljø-Blad nr. 48, Slamavskiller. Bestemmelse av personkvaliteter er beskrevet i Norsk Standard NS 9426. For større flerhus anlegg må det også dimensjoneres for fremmedvann.

**Hydraulisk belastning (liter/m<sup>2</sup> og døgn)**, er filtermediets kapasitet til å motta slamavskilt avløpsvann. Verdien bestemmes ut fra filtermaterialets kornfordeling og vanngjennomtrengelighet. Hydraulisk belastning er dermed et mål på hvor mye slamavskilt avløpsvann som kan tilføres biofilteret i løpet av et døgn. Fordegningsystemets utforming og type avløpsvann er avgjørende for den hydrauliske belastningen og dimensjoneringen av biofilteret.

I henhold til VA/Miljø-Blad 49, kan biofiltere der vannet finfordelles over filterflata med dyse belastes med 200 liter slamavskilt avløpsvann per m<sup>2</sup> og døgn når anlegget skal renses totalavlop, det vil si både gråvann og svartvann.

**Hydraulisk ledningsevne (m/døgn)** er et mål på vannledningsevnen i filteret. Dette avhenger av kornstørrelse, sorteringsgrad, porevolum og

meningen finstoff i filtermediet. For dimensjonering må målt hydraulisk ledningsevne multipliseres med 0,3. I VA/Miljø-Blad nr. 49 frarådes det å bruke filtermasse med dimensjonerende hydraulisk ledningsevne mindre enn 10 m/døgn.

**Oppholdstid (døgn)** er en viktig faktor ved dimensjonering av filterbedanlegg, da vannet må ha en viss oppholdstid i filteret for at tilfredsstillende renseeffekt skal oppnås. I henhold til VA/Miljø-Blad nr. 49 bør det dimensjoneres med en oppholdstid på minimum 10 døgn ved prosjektering av filterbasseng som skal renses totalavlop (både gråvann og svartvann). Ved prosjektering av filterbasseng kun for gråvann, bør oppholdstiden minimum være 7 døgn.

**Fosforbindingsevnen (kg per m<sup>2</sup>)** til filtermassen i filterbasseng vil være avgjørende for tilbakeholdelse av fosfor. Det benyttes hovedsakelig Filterlite-P (leca) eller skjellsand, alternativt jernholdig sand som filtermedium i filterbedanlegg. Foransett levetid med hensyn til fosforbinding er ofte den begrensende faktor ved dimensjonering av filterbedanlegg for helårsboliger. Fosforbindingsevnen reduseres etter hvert ved at filtermaterialet blir mettet med fosfor. Etter et visst antall år må filtermaterialet byttes ut og erstattes med nytt filtermateriale.

På markedet finnes det leverandører av kompakte filterbedanlegg med mindre filtervolum og derved kortere oppholdstid for vannet enn det som er forutsatt i VA/Miljø-blad nr. 49. Anleggene kan fungere bra, men det bør tydelig frem at levetiden mht fosforbinding blir kortere. Filtermaterialet må da skiftes ut hyppigere.

**Utforming av anlegg**

Et filterbedanlegg består av tre rensesystemer: en slamavskiller der flyteslam og sedimentert slam holdes tilbake, et biofilter med vertikal, umettet strømming der slamavskilt avløpsvann renses biologisk (eller eventuelt anvisningsforbehandling med samme effekt) og et filterbasseng med filtermasse og høy dimensjonerende vannmengde og fosforbindingskapasitet. Detaljert utforming av filterbedanlegg er beskrevet i VA/Miljø-blad nr. 49, Våtmarks-filtre.

Et filterbedanlegg består vanligvis av følgende komponenter:

- Slamavskiller
- Pumpekum/støtbelastet med normalt en pumpe og eventuelt tidsstyring
- Biofilter med spredde for finfordeling av slamavskilt avløpsvann på filterflaten

Figur 3.4 – Temaark Bioforsk oppslag om tema filterbed 50 prosent forminsknet. Hensel et al. (2008).

### 3.1.4 Temaark for ecosan prosjekter – fra 1993

Temaark for ecosan prosjekt (*Data Sheets for Ecosan Projects*) omfatter tjuv temaark (2010). Informasjonen er rettet mot et internasjonalt publikum og har et klart nord-sør perspektiv: Ti europeiske prosjekter, to latin-amerikanske, tre afrikanske, og fem asiatiske. Temaarkene distribueres via en nettbasert database. Databasen *gtz.de/ecosan* er tilknyttet det føderale selskapet *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, som ble etablert i 1975.

Både privatpersoner og institusjoner oppfordres til å medvirke i utvikling av databasen. Organisasjonen har laget nedlastbare maler for prosjektbeskrivelser som kan fylles ut av strengtalt hvem som helst, for så og publiseres på *gtz.de*. Ønsket er at opplysning om nye ideer og metoder ikke skal begrenses til kun å omfatte ecosan-prosjekter i regi av GTZ. I henhold til både økonomiske og økologiske alternativer blir stadig mer aktuelt – spesielt i relasjon til konvensjonelle VA-systemer. Temaarkene er deres bidrag innen promotering av strategier for kretsløpsbasert avløpshåndtering (GTZ 2008).

Temaarkene beskriver realiserte ecosan-prosjekter. Det gjøres ikke forskjell mellom lav- eller høyteknologiske løsninger, rurale eller urbane prosjekt, ulike kulturelle sammenhenger eller prosjektenes skala (GTZ 2008). Temainndelingen og bredden i presentasjonen viser en tydelig forankring i prinsipper for bærekraftig utvikling. De nedlastbare malene inkluderer en smørbrøddliste av vurderingskriterier som kan brukes i prosjektbeskrivelser. Her inkluderes sosiokulturelle, økologiske, så vel som økonomiske faktorer av betydning for planlegging og realisering. Valgmulighetene gir rom for et innholdsmessig fokus som kan tilpasses et bredt spekter av prosjekter, noe som antakeligvis står i sammenheng med at GTZ ønsker å nå ut til et bredt publikum. Presentasjonsmalen fremstår som svært grundig, og er inndelt i hovedtemaene: *generell informasjon, prosjektets målsetning og motivasjon, områdebeskrivelse; anvendt teknologi, gjenvinnings- og resirkuleringsmuligheter, prosjektets historie, kostnader og økonomi, drift og vedlikehold, tekniske spesifikasjoner, praktiske utfordringer og erfaringer, systemets holdbarhet, referanser og involverte aktører* (jf Tabell 3, Appendiks s. 82).

Hvert temaark er på 3-4 sider, og har en kort og stikkordspreget form. Det er lagt vekt på teknisk informasjon, brukermedvirkning, helse, sosiokulturelle forhold, kretsløps- og resirkuleringsmuligheter. Tema som landskapstilpasning og estetikk er mindre fremtredende. Hver prosjektbeskrivelse ledsages av diagrammer, prinsippsskisser og fotografier i et blandet uttrykk. Den åpne designstrategien kan sees i lys av GTZ sitt ønske om å tilrettelegge for opplysning om et mangfold av prosjekter. En slik sjenerøsitet og vilje til å gi fra seg kontroll er svært positivt. Bakdelen ved grepet er at innholdet fremstår svært fortettet. Følgen er at temaarkene gir et noe ugjenomtrengelig førsteinntrykk (jf Figur 3.6).

### 3.1.5 Naturbasert – temaark

Naturbasert – temaark inkluderer beskrivelse av prosjektets *bakgrunn, renset metode, planprosess, naturgrunnlag og landskap, økonomi*, og til slutt en *samlet vurdering*. Beskrivelsen er videre inndelt i undertema (jf Tabell 4, Appendiks s. 83). Til sammen skal dette gi leserne en helhetlig forståelse av forutsetninger og prosesser rundt et integrert landskapsdesign og etablering av naturbaserte rensesanlegg.

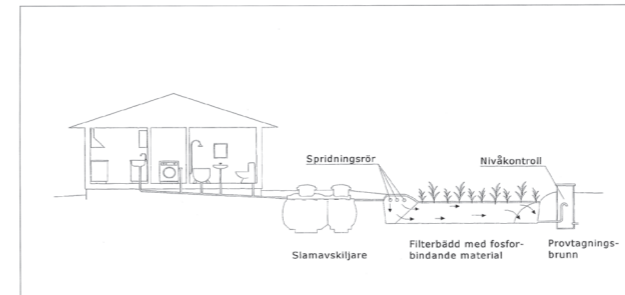
Vurderingskriteriene fra rapporten *Økologisk renseteknologi* (1992) ble brukt som utgangspunkt for det nye temaarket. Førsteutkastet ble deretter endret i lys av de tre andre publiserte temaarkene.

Naturbasert – temaark har et utvidet fokus på landskapstilpasning og planprosess, sammen med spørsmål knyttet til landskapsdesign, beskrivelse av naturmiljø og økologisk respons. Tilnærmelsen bygger på landskapsøkologiske kartleggingstemaer som *områdets relasjon til tilstøtende omgivelser, terrengformer, blågrønn struktur, bebyggelse, geologi, grunnforhold, biologisk mangfold og naturtype*.

Beskrivelser av de fire prosjektenes *bakgrunn, planprosess, naturgrunnlag og landskap* er basert på intervjuer og befaringer til respektive anlegg.

### EKSEMPEL 11. FILTERBÄDD MED FOSFORBINDANDE MATERIAL

Filterbädd med fosforbindande material är en utveckling av markbäddsteknik där förutom reduktion av organiskt material och smittämnen även högräddig reduktion och fastläggning av fosfor sker. Filterbäddsmaterialet kan i denna konstruktion grävas eller pumpas upp och användas som gödning på till exempel åkermark. Tekniken utvecklas och utvärderas i Norge sedan början av 1990-talet. Systemet kan kombineras med urinsortering, separat hantering av klosettvattnet eller multrum.



I filterbädden med fosforbindande material kan man även ha växter om man vill.

Avloppsvattnet passerer en slamavskiljare och leds eller pumpas sedan över till en filterbädd som är helt tät i botten. I den första delen som är naturligt luftad rinner vattnet vertikalt ner genom bädden. Här sker en biologisk reduktion av organiskt material och smittämnen, och en stor del av kvävet i avloppsvattnet omvandlas till nitrat. I den efterföljande horisontella delen av bädden strömmar vattnet genom ett poröst filtermateriale (norsk Leca) som binder in fosfor.

Man kan välja att ha växter stående i den senare delen av filterbädden. De spelar ingen roll för fosforreduktionen men rötterna bidrar med en yttroförande effekt och tillför organiskt material som kan öka den biologiska aktiviteten i anläggningen.

Flera andra fosforbindande material har utvärderats men inte provats lika nogga i verklig drift som norsk Leca. Denna typ av filterbäddar har också med gott resultat använts i Norge för att rena BDT-vatten. Då behövs de inte dimensioneras lika stora som för blandat avloppsvatten.

Den fosfor som fastlägs i filtermaterialet kan återföras till jordbruksmark om man tömmer bädden med jämna mellanrum. Frågan är hur stor gödsel effekten blir av detta material. Erfarenheter från Norge visar att fosfor frigörs och blir växttillgänglig när materialet läggs i jorden. Begränsad erfarenhet från svenska försök vid Luleå tekniska universitet tyder på att fosfor är tillgänglig. Problemet är att fosforkoncentrationen i Leca-materialet är mycket låg (om man inte använder högabsorberande Leca och för det är inga svenska försök gjor).

da). Det gör att man måste sprida mycket stora mängder av materialet för att komma upp i den fosforigiva man vill ha.

Möjlighet till uppskalning  
Anläggningen lämpar sig mycket väl för bysamlingar. På många platser i Norge betjänar en filterbädd av detta slag flera fastigheter. För enskilda fastigheter finns det ett färdigt koncept utarbetat. Kostnaden ökar per enhet ju färre fastigheter som delar på en filterbädd.

#### TILLFÖRLITLIGHET

Den erfarenheter man har av denna teknik är att det är en mycket robust och driftsäker anläggning. Den måste dimensioneras och byggas av fackmän, men driften innebär inga processer som måste övervakas. Anläggningen kräver inte heller förändrat beteende hos brukaren eller invändiga ombyggnader.

Haveririsk  
Mycket robust anläggning som i den rekommenderade utformningen är väl dimensionerad (kanske till och med överdimensionerad).

Brukaracceptans  
Ingen skillnad för brukaren jämfört med en markbädd förutom en eventuell beväkning av kaveldun eller blad-vass på filterbädden.

Kompetenskrav  
Projektering och anläggning kräver fackman med goda kunskaper. Driften är mycket enkel för de boende.

Kontroll (avtal)  
Mätpunkt finns. Omgrävning/byte av filtermateriale kan ske vart 10:e-15:e år bör villkoras i tillståndet. Hur ofta detta verkligen behöver ske är osäkert i nuläget. De äldsta Leca-bäddarna i Norge installerades 1990 och börjar nu komma ifråga för att eventuellt byta filtermateriale.

Erfarenheter  
Mycket väl beprövat teknik i Norge. Goda resultat dokumenterade av forskare. Rekommendationer och tekniska anvisningar finns i en teknisk vägledning som branschorganisationen NORVAR har gett ut. Dessutom finns det produkttablad från producenten.

» <b>Fördelar</b> Inga ingrepp i fastigheten Litet behov av tillsyn och skötsel Tekniken väl utvärderad Lätt att kontrollera reningseffekten	» <b>Nackdelar</b> Leca kräver mycket energi vid tillverkning Kräver stor yta på tomten Kräver stor yta på tomten
--	--

#### UTRUSTINGSBEHOV

Denna anläggning kräver inga förändringar inomhus, utan hela anläggningen placeras utomhus. Filterbädden består av två delar: dels en vertikal del där det sker reduktion av syreförbrukande ämnen och nitrifikation i omättad strömning, dels en horisontell del med måttad strömning där fosforfastläggning och denitrifikation sker.

Slamavskiljare och pump för besöksning  
Typgodkänd slamavskiljare för blandat avloppsvatten. En liten pump måste användas för att på ett bra sätt besöksa vattnet över den vertikala bädden.

Filterbädd  
Konstruktion och anläggningsföreskrifter samt material tillhandahålls av leverandör. I nuläget finns sådana att få från företaget NAVA som är en avknoppning från Jordforsk vid Norske landbruksforskning i Ås.

Provningsbrunn  
Ska finnas efter anläggningen.

#### SMITTSKYDD

Smittspridning direkt vid anläggningen  
Då hela bädden är sluten är risken för exponering av eventuella smittämnen mycket liten. Det renade vattnet förväntas få en mycket god avvärdning dels på grund av den vertikala bäddens höga biologiska aktivitet, dels på grund av lång uppehållstid i anläggningen (5-7 dagar).  
Smittspridning i hantlingskedjan  
Eventuellt risk kan finnas vid byte av filtermateriale som kanske måste göras vart 10:e-15:e år.  
Avskiljning  
Utgående vatten från flera av de studerade anläggningarna har motsvarat badvattenkvalitet eller bättre.

Figur 3.5 – Svensk temaark oppslag om tema filterbädd, 50 procent formfinsket. Johansson & Johansson (2002) s. 69-70.

004 Lübeck Flintenbreite, Germany

**004**  
**Ecological housing estate Lübeck Flintenbreite**  
**Lübeck, Germany**

**1 General Data**  
**Type of Project:** Urban upgrading of an ecological settlement project  
**Project Period:** Start of planning: 1995  
Start of construction: 1999  
**Project Scale:**  
• 117 apartments in twin houses, terraced houses and blocks of flats  
• appr. 350 - 380 inhabitants  
**Address:** Flintenbreite 4  
23554 Lübeck  
**Planning Institution:** Otterwasser GmbH  
Eingelsgrube 51  
23552 Lübeck  
**Executing Institution:** Infranova GmbH & Co KG  
Flintenbreite 4  
23554 Lübeck

**2 Objectives of the project**  
To serve as a demonstration project for the German Federal Ministry of the Environment and as a pilot project for the Hansestadt Lübeck for ecological, social and economical sustainable urban development.  
To ensure the consequent utilisation of ecological building materials, the use of self-sustaining, integrated energy and wastewater concepts, and the implementation of innovative energy saving technologies, with a minimisation of interference in nature, and a responsible, integrative and active cohabitation of the inhabitants.  
**3 Location and general conditions**  
Figure 1: Twin houses in Flintenbreite (source: GTZ)  
The settlement served as a global project of the EXPO 2000 Hanover and has attracted many visitors.  
The ecological settlement is situated to the West of Lübeck and covers an area of 5,6 ha, of which 2,1 ha are left as natural green space.  
It consists of 117 accommodation units in twin and terraced houses and blocks of flats with different sizes for up to 380 inhabitants.  
It is planned as a nearly car-free settlement with a central parking area.  
The special character of the settlement is based on a holistic ecological concept, which includes architecture, landscape planning, social cooperation, energy and sanitation.  
**4 Technologies applied**  
The settlement is not connected to the public wastewater system. The wastewater is collected and treated in an internal cycle.  
The rainwater of roofs and sealed areas is collected in small gutters and infiltrated to the groundwater in decentralised swales.

**data sheets for ecosan projects**  
ecosan sector project - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

ECOSAN SYSTEM APPLIED COMPONENTS	SOLID BIOWASTE	FÆCES	URINE	GREYWATER	RAINWATER
Collected	Collected	Collected	Collected	Collected	Collected
Treatment	Treatment	Treatment	Treatment	Treatment	Treatment
Use	Use	Use	Use	Use	Use

**5 Type of reuse**  
The liquid substrate of the anaerobic digestion of blackwater and biowaste will be collected by a farming cooperative and used as an organic fertilizer.  
The biogas can be used for power and heat generation for the households in a combined heat and power unit.  
The treated greywater flows toward a nearby receiving water, with a portion infiltrating into the ground en route.  
The stormwater is led back to the natural cycle by infiltration.

**6 Further project components**  
• Houses exceed the low energy consumption- standard of the Federal State of Schleswig-Holstein.  
• Adapted ventilation systems in the houses.  
• Solar panels for water heating.  
• Combined heat and power unit and gas fired condensing boilers cover a high rate of self-production of heat and electricity.  
• Central electronic account system for energy (electricity and heat) and water consumption.  
• Scientific supervision of the project by the Technical University Hamburg-Harburg.

**7 Project history**  
Construction began in 1999 after the city of Lübeck approved a development plan for an ecological settlement. Unfortunately the investors for the buildings charged during the construction phase, causing delays and image problems followed by marketing difficulties. The settlement is therefore still not completely finished and the infrastructure system is not yet running at full capacity. Construction on the missing units will restart during 2005.

**8 Costs**  
The investment costs of the complete ecological housing settlement project in Lübeck Flintenbreite are approx. € 20 Mio.  
The investment for the integrated sanitation system are approx. € 600.000  
Investment costs for the sanitation system are approx. 40% higher than for the common wastewater system, while operation costs are estimated to be 25% less than in conventional settle-

In the households vacuum toilets with a very low water consumption (0.7 – 1.2 l per flush) are installed.



Figure 3: Vacuum toilet (source: Otterwasser)

wetlands. After a preliminary sedimentation the greywater is fed in intervals to the wetlands, constructed as vertical flow filters.



Figure 4: Constructed wetland (source: Otterwasser)



Figure 5: Gutter and swale system for stormwater (source: Otterwasser)

The blackwater (feces and urine) is transported via a vacuum sewerage system to a central anaerobic digester. The organic waste from the kitchens is collected separately and is mixed and treated together with the blackwater, initially by thermic hygienisation. This is followed by anaerobic digestion. The liquid residue is stored for a further stabilisation to produce an organic fertilizer. The treatment plant is still in its start up phase, as the settlement is not yet fully inhabited due to various reasons related to the real estate market. The greywater (wastewater from the



Figure 6: Mixing and neutralisation unit (source: Otterwasser)

Figur 3.6 – Temaark for ecosan prosjekt om et økologisk boligprosjekt, 50 prosent formfinsket. GTZ (2008).

hensyn til sammenfallende og avvikende erfaringer. Det er ikke gjort nok intervjuer til å trekke, statistisk sett, robuste konklusjoner. Svarene reflekterer allikevel noen tendenser innen integrert landskapsdesign og etablering av naturbaserte renseløsninger.

Oppsummeringen av intervjuene følger anleggsvis med gjennomgang av temaene *bakgrunn, formidling av fagkunnskap, planprosess, naturgrunnlag og landskap* samt *rensem metode*.

### Boks 3.3 – De som ble intervjuet

#### Rena rensespark

Per Rosenborg, fagleder i teknisk avdeling Åmot kommune. Helge Bakke, landskapsarkitekt MNLA Feste Nordøst.

#### Vidaråsen landsby

Will Browne, sivilarkitekt tilknyttet Vidaråsen

#### Klosterenga Økologiboliger

Lars Fischer, Grindaker landskapsarkitekter MNLA. Per Kr. Monsen, Sivilarkitekt MNLA, Gasa arkitekter. Roar Viken, utviklingsjef Usbl. Tor Nilsen, arbeidsleder ved Gamle Oslo Servicesentral. Terje Nordeide, Oslo kommune Vann- og avløps-etaten (VAV).

#### Dal skole

Halvor Glenne, sivilingeniør og lokalpolitiker i Frogn. Arne Bråthen, avdelingsleder i teknisk forvaltning, Frogn kommune. Leif Ansgard Andersen, tidligere rektor ved Dal skole. Bjørn Michaelsen, driftsoperatør ved Frogn kommunale rensesanlegg.

### 3.2.1 Bakgrunn

**RENA** – Naturbasert løsning for rensing av avløpsvann for Rena sentrum ble valgt ut fra flere sammenfallende omstendigheter: Muligheter for å benytte løsmasseinfiltrasjon ble introdusert da det kjemiske fellingsanlegget fra 1975 ble ødelagt av flommen i 1995. Et politisk vedtak om etablering av Forsvaret i kommunen medførte økt press på kloakknettet. Samtidig ga det gode økonomiske betingelser for å bygge noe nytt. Tilkoplingsavgiften for Rena leir lettet altså nyinvesteringene.

Teknisk avdeling i Åmot kommune tok initiativet til å prøve ut en naturbasert avløpsløsning, mens selve realiseringen av prosjektet ble gjennomført som et samarbeid mellom kommunen og Forsvarets Bygningstjeneste. Ideen om å benytte infiltrasjon i stede egne løsmasser oppstod på 90-tallet, etter at kommunen var kommet i kontakt med et fagmiljø som promoterte slike metoder.

VIAK (nå Asplan Viak) i Sverige og norske Geofuturum (nå Interconsult) var viktige støttespillere med hensyn til fagkunnskap om naturgrunnlag og renseløsninger. Liknende anlegg i Sverige fungerte som referanseprosjekter. For å kartlegge muligheten utarbeidet kommunen en georessursplan i 1995. Samtidig hadde området vært gjenstand for grundige hydrogeologiske studier, ettersom Åmot har vært grunnvannskommune siden 1950.

Grundige forundersøkelser var både viktig som beslutningsgrunnlag for å velge naturbasert renses metode, og som utgangspunkt for prosjektering av anlegget.

**VIDARÅSEN** – Vestfolds første konvensjonelle minirenses-anlegg basert på aktivslam med kjemisk felling ble anlagt i Vidaråsen Landsby i 1976. På starten av 80-tallet ble landsbyens første rensedamner innført som etterpoleringstrinn til fellingsanlegget. Landsbyledelsen utnyttet muligheten til å innføre naturbasert renseløsning da fellingsanlegget måtte erstattes på slutten av 80-tallet. Innbyggerne hadde ønsket om at det nye anlegget skulle tilføre stedet estetiske kvaliteter samt kunne nyttes i pedagogisk øyemed. Målet har vært å utvikle et konkret eksempel som kan vise hvordan avfall kan transformeres og foredles som ressurs. Landsbystiftelsens daglige leder tok initiativ til satsningen, med bred støtte blant beboerne. Prosjektet ble drevet frem av daglig leder i samarbeid med landsbyens arkitekt. Som daglige brukere av landsbyen, hadde initiativtakerne svært god kjennskap til stedlig naturgrunnlag.

Det nye damanlegget er realisert som et pilotprosjekt som skal vise at valgte renseløsning kan fungere godt i et kaldt norsk innlandsklima. Oppgraderingen av damanlegget ble gjennomført som et forskningsprogram (1997-98) i regi av fagmiljøet ved Jordforsk (nå Bioforsk) og Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT). Et liknende anlegg tilknyttet *Solborg Camphill Landsby* på Jevnaker var viktig referanse i søknad om utslippstillatelse fra Fylkesmannens miljøvernkontor.

**KLOSTERENGA** – Renseløsning for gråvann tilknyttet Klosterenga Økologiboliger inngikk som et ledd i en byøkologisk satsning for bydel Gamle Oslo. Her skulle flere sider ved en bærekraftig boligutbygging synliggjøres. I utredningsprogrammet heter det: *”Byøkologi betegner en særskilt miljøinnsats, som med utgangspunkt i et byområdes miljøtilstand søker å fremme helhetsorienterte løsninger på problemstillinger som er knyttet til områdets ressursforbruk, miljøbelastning og naturinnhold [...] Bebyggelsen bør utformes slik at bygningskonstruksjonene i sitt livsløp har et minst mulig ressursforbruk og miljøbelastning både med hensyn til bygging og drift [...] Det skal etableres gode sammenhenger til overordnet vann- og grøntstruktur. Det skal sørges for skjerming mot kaldluft og forurensning. Naturinnholdet skal økes ved bruk av vann og vegetasjon og dyrkingsarealer. I tillegg skal det tilrettelegges for en integrering av beboerne i bydelens sosiale liv som fellesanlegg, barnehager, økologiske demonstrasjonsanlegg”* (Miljøbyen Gamle Oslo 1995).

Boligbyggelaget Usbl tok initiativ til det økologiske demonstrasjonsanlegget, og miljøvennlig vannhåndtering var et av flere miljøtiltak i prosjektets rehabiliteringsprogram. I 1995 ble det opprettet en referansegruppe som bestod av representanter fra berørte kommunale etater, Husbanken, Gamlebyen Beboerforening, arkitekter (Arkitektskap, Arkitektkontoret Gasa), ingeniører og forskere (Jordforsk, SINTEF, Levende Lokalsamfunn, Samfunnsteknikk). Allerede tidlig i prosessen ble arbeidsgruppen klar over at det foregikk forskning på naturbaserte VA-løsninger ved fagmiljøet ved NLH (nå UMB).

Forskere tilknyttet Institutt for tekniske fag (nå IMT) var pådriver for valg av naturbasert renseløsning. Liknende anlegg i Nord-Europa og Norden fungerte som referanseprosjekter. På grunn av spesielle grunnforhold i Gamlebyen krevde utbyggingen grundig kjennskap om eksisterende situasjon.

**DAL SKOLE** – Naturbaserte renseløsninger i Frogn kommune er resultatet av en langvarig politisk prosess. Frogn Arbeiderparti lanserte avkloakkering av kommunens hytteområder i 1991. Året etter utga SFT og Jordforsk rapporten *Økologisk renses teknologi* (1992). Kommunens utkast til hovedplan for vann- og avløp (1995) var motivert ut fra forurensingssituasjonen i Bunnefjorden. Sammen med utredning av to konvensjonelle alternativer, ble desentraliserte metoder vedtatt politisk som et tredje utredningstema 14.06.1999. Målet var å komme frem til ordnede vann- og kloakkforhold for eksisterende og ny bebyggelse i Nordre Frogn. Rådmannen i Frogn innstilte på tradisjonell løsning 14.9.01. Allikevel ble naturbaserte VA-løsninger lagt til grunn som prinsipp i hele kommunen med vedtatte Kommunedelplan av 2001 (Dammann & Leer-Salvesen 2002; Frogn kommune 1999).

For utvikling av prosjektplan for gjennomføring oppnevnte rådmannen en politisk styringsgruppe. Innføring av nye VA-løsninger i kommunen førte til kontroverser. Den politiske styringsgruppen jobbet derfor aktivt som pådrivere for naturbaserte løsninger, med utstrakt møte- og lobbyvirksomhet overfor lokal- og fylkespolitikere. Pilotanlegget på Dal skole kom inn som et konkret prøveprosjekt for å imøtegå noe av opposisjonen. Kretsloppssystemet tilknyttet Kaja studentboliger i Ås fungerte som referanseprosjekt (Glenne 2008).

Kommunestyret i Frogn tok initiativ til naturbasert renseløsning i kommunen. Saken ble tatt opp etter innspill fra innbyggere og lokalpolitikere. Kontakt med fagmiljøet tilknyttet Institutt for tekniske fag (ITF) var viktig i planrealiseringen. En detaljert registrering av vann- og avløpsforhold dannet grunnlag for vurderingen av forurensingstilførsel og VA-løsninger for området Nordre Frogn.

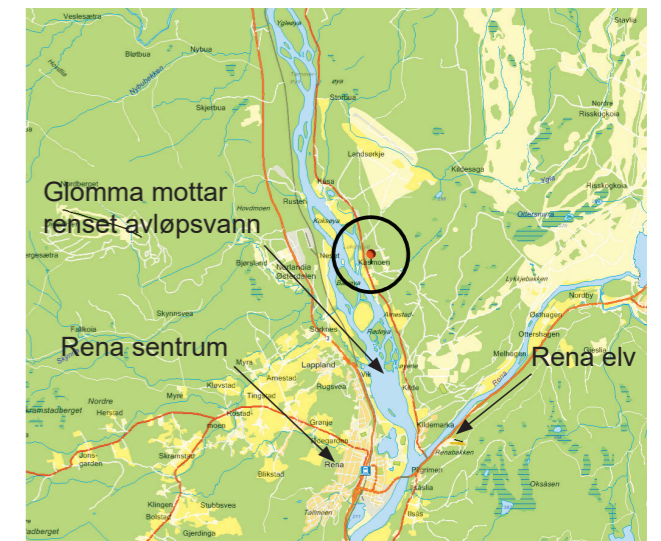
### 3.2.2 Formidling

**RENA** – Teknisk avdeling i Åmot kommune hadde ingen erfaring med naturbaserte løsninger. Konsulentfirmaet Geofuturum sto for formidling av fagkunnskap og nødvendig forundersøkelser. *”Samarbeidet var bygget på tillit. Teknisk avdeling hadde ikke kunnskap til å overprøve innleide konsulenter. Flere i det tradisjonelle VA-miljøet mente vi burde satse på biologisk-kjemisk rensing. De var skeptiske til infiltrasjon og mente vi hadde latt oss forføre. I ettertid har vi fått ros for at vi våget å gå med på såpass banebrytende arbeid”* (Rosenborg 2008).

På 90-tallet var det realisert få liknende anlegg i Norge. Både kommunepolitikere og saksbehandlere deltok derfor på studieturer til Sverige. Her finnes mange eksempler på anlegg som renser godt, men hvor selve anleggsutførelsen er lite stedstilpasset. Kommunen engasjerte derfor Feste Nord Øst AS landskapsarkitekter for å oppnå en terrengtilpasset utforming av rensesparken. Med utbyggingen er det lagt stor vekt på bevaring av eksisterende vegetasjon, og snauhogst var ikke tillatt.

Landskapsplanen ble laget på grunnlag av geoteknisk vurderinger, som undersøkelser av kornfordeling og sedimentkvalitet i jordmassene. Det var et mål at anlegget skulle skille seg fra liknende prosjekt hvor landskapsarkitekt ikke er benyttet: *”I Sverige hadde vi sett anlegg med store åpne basseng hvor all mellomliggende vegetasjon var fjernet. For å oppnå et integrert anlegg ble naturgitte landskapsformer brukt bevisst i utformingen av rensesparken”* (Bakke 2008).

Både Bakke og Rosenborg oppgir studieturen til Sverige som viktig for å få innblikk i rensesprosesser og infiltrasjon. *”Jeg fikk svar på veldig mye ved å studere konkrete eksempler”* (Bakke 2008). Rosenborg understreker at samarbeidet med erfarne konsulenter har styrket prosjektet. Begge informanter er fornøyd med kommunikasjon og overlevering av kunnskap fra forskerhold (Bakke 2008; Rosenborg 2008).



#### Rena rensespark – Kåsmoen

Innlandskommunen Åmot ligger i hjertet av Hedmark fylke, med tettstedet Rena som administrasjonssentrum. Innbyggertallet er 4.389 personer (2008), og kommunens totale areal er 1.339 km<sup>2</sup>. Produktivt skog dekker to tredjedeler av arealet, og skogbruk utgjør en viktig del av økonomien. Rena har rike industriarbeidertradisjoner, med *Rena Karton* som hjørnesteinsbedrift fra 1913 til 1998 (Åmot kommune 2008).

Åmot ligger i Glommas nedbørfelt. Elvene Glomma og Rena har begge nær tilknytning til Rena sentrum. Det er store løsmasseforekomster knyttet til elvenes dalfører som ble avsatt i siste nedisingsperiode, mellom ca år 70.000 og 10.000 før nåtid. Foruten at de gir svært gode grusressurser, er morenemassene rike på grunnvann, og svært godt egnet som rensesmedium for forurenset vann (Bolstad & Østerås 1995).

Rena rensespark er anlagt på den mektige brelvavsetningen på Kåsmoen. Rensesparken ligger på en terrasseflate 40 meter over og i 500 meters avstand fra Glomma. Rensesparken behandler avløpsvann fra et avløpsdistrikt på ca 195 m<sup>2</sup>. Området omfatter blant annet husstander i Rena sentrum og Rena leir. Rena rensespark er, per i dag, Norges største infiltrasjonsanlegg (Jenssen et al. 2006).

Adresse: Rena rensespark – Kåsmoen, 2450 Rena



**VIDARÅSEN** – Forskning spilt en viktig rolle i oppgradering av damanlegget ved Vidaråsen Landsby. I perioden 1996-97 fulgte både forskere og studenter opp prosessen. Prøvetakingsresultatene inngikk i en hovedoppgave ved IMT, og anlegget ble oppjustert som følge av forskningsresultatene. Landsbyarkitekten satte seg inn i feltet konstruert våtmark for kalde klima på egenhånd, og fulgte blant annet sommerkurs i naturbaserte løsninger for kommuningeniører ved NLH (nå UMB).

Anlegget tilknyttet Solborg, og en hovedoppgave som beskrev dette (Mæhlum 1991) har vært viktige referanser. Arkitekten oppgir kommunikasjon og overlevering av kunnskap fra forskerhold som en positiv erfaring. *"Kunnskapsoverføring er viktig for at slike metoder skal få større utbredelse"* (Browne 2008).



#### Vidaråsen Landsby

Landsbyen ligger i skogbrukskommunen Andebu i Vestfold fylke. Andebus innbyggere teller ca 5.100 og boligmønsteret er hovedsakelig spredt. Vidaråsen Landsby ligger 100 m.o.h. i et kulturlandskap med skogkledde åser, ca 100 km sør for Oslo og 25 km fra Tønsberg og Sandefjord.

Landsbyen er et bo- og arbeidsfelleskap med mottak for psykisk utviklingshemmede, pasienter fra psykisk helsevern, samt sosial- og kriminalomsorgen. Stedet er tilknyttet et internasjonalt nettverk av *Camphill Landsbyer*. Landsbyområdet har til sammen 50 bygg hvorav 15 er familiehus. Driftsbyggene dekker funksjonene gård og husdyrdrift, gartneri, ysteri, storkjøkken, bakeri, vaskeri, pleie og omsorgshus. I tillegg kommer eget kulturbygg med teater og konsertsal.

Vidaråsen huser 140 innbyggere, hvorav ca 65 er voksne landsby-boere med tilretteleggingsbehov. Resterende beboerne er voksne medhjelpere og deres barn (Stiftelsen Vidaråsen Landsby 2001).

Avløpsvann fra landsbyen renses gjennom damanlegg hvor metoder basert på naturlige renseprosesser i vann, jord og hosplanter kombineres.

Adresse: Vidaråsen Landsby, 3158 Andebu.  
Hjemmeside: [camphill.no/vidaraasen](http://camphill.no/vidaraasen)

**KLOSTERENGA** – Både byggherre, arkitekt og landskapsarkitekt at de er fornøyd med overlevering av fagkunnskap fra forskerhold (Fischer 2008; Monsen 2008; Viken 2008). *"Vi kjente verken til renseprosesser eller renseeffekt og var avhengige av kunnskapsoverføring. Samtidig medførte vår innledende kunnskapsmangel til at vi ikke kunne overprøve utspill fra fagekspertene om dimensjoner på lecakuler, som i ettertid viste seg å være feil"* (Fischer 2008).

Landskapsarkitekten studerte dansk og svensk litteratur om rotsoneanlegg i forkant av oppgaven om å prosjektere utomhusplan med integrert gråvannrensning. I følge Fischer fungerte befaringer til kretslopsanlegget tilknyttet Kaja studentboliger i Ås, og andre gjennomførte byøkologiske tiltak i Europa og Norden, som svært effektive for kunnskapsoverføring. Arkitektene leste seg ikke opp i forkant av oppdraget, ettersom de alltid tilkaller ekstern ekspertise i saker som går utover deres kompetanse. Monsen (2008) påpeker at kunnskap om dette feltet ikke er god nok fra anleggshold. Videre hevder han at VA-konsulenter og entreprenører, generelt sett, er for dårlig oppdatert om naturbaserte løsninger. Fischer (2008) mener det bør gis større handlingsrom for utprøving av nye metoder. Det offentlige bør, i større grad, gi økonomisk støtte for en videreutvikling av økologiske byggetiltak. Han anbefaler økt samarbeid mellom utdanningsinstitusjoner og forvaltning, og etablering av flere stipendiatstillinger om tema som byøkologi og miljørettet planlegging.

Driftsoperatør ved Klosterenga hadde ingen erfaring med naturbaserte rensning, og hevder å ha fått mangelfulle instruksjoner om anleggsoppfølging fra anleggsprosjekterende og byggeherre: *"Vi har ikke direkte kompetanse på drift og skjøtsel av gråvannsanlegg. Driftsrutinene er utarbeidet på egenhånd underveis i den praktiske driften"* (Nilsen 2008).

**DAL SKOLE** – Med innføringen av naturbaserte renseløsninger i Frogn kommune ble det bedrevet utstrakt informasjons- og folkemøtevirksomhet. Forskermiljøet ved ITF deltok aktivt i dette. Daværende leder av den politiske styringsgruppen tilegnet seg kunnskap om temaet på egenhånd, blant annet gjennom en egenfinansiert studietur til USA. Glenne oppgir stor tillit til fagmiljøet ved ITF. Deres fagkunnskap om tekniske spørsmål ble benyttet hele veien. Avdelingsleder i kommunens tekniske forvaltning sier seg enig i dette. Avdelingen hadde ikke kompetanse på feltet og lærte derfor mye gjennom prosessen (Bråthen 2008).

Kommunens driftsoperatør hadde ikke vært involvert i drifting av konstruert våtmark før realiseringen av pilotanlegget på Dal. Michalsen (2008) hevder at de samarbeidsproblemer som etter hvert oppstod mellom ITF og kommunen er grunnen til at en plan for anleggsoppfølging aldri ble utarbeidet. Ettersom er basert på vanlige vedlikeholdsrutiner: *"Det hadde vært greit og fått en oppfølgingsplan, men det erfaringsbaserte systemet vi har utviklet fungerer i dag tilfredsstillende"* (Michalsen 2008).

#### 3.2.3 Planprosess

**RENA** – Kommunens tekniske avdeling deltok i prosjektet fra oppstarten i 1995, og de følger fremdeles opp saken blant annet med formidling. Siden anlegget overgår 2000 på måtte kommunen søke Fylkesmannens miljøvernkontor om utslippstillatelse og konsesjon. Fylkesmannen skal ha årlig rapport om anlegget. For de fem første driftsårene var det

krav om at en godkjent fagkyndig person utførte årsrapporteringen. Rutiner for prøvetaking og overvåking av infiltrasjon til grunnvann er pålagt av Fylkesmannens miljøvernkontor. Anleggsoppfølging inngår i kommunens totale drift, og det foretas daglig overvåking av anlegget.

Rosenborg fremhever at tillit til fagmiljøet, godt samarbeid mellom aktørene og felles vilje til utprøving innad i kommunen har gitt en vellykket prosess. Politikerne fikk tidlig et eierforhold til prosjektet. Støtten fra Forsvarets Bygningstjeneste var også viktig. Prosjektet fikk en ryddig organisasjonsstruktur, med god ansvarsfordeling helt fra starten av. Organisasjonsstrukturen styrket kontrollen på økonomi og legalitet i prosjektet, spesielt med hensyn til anbudsprosesser. Det var også gunstig at kommunen allerede hadde etablert kontakt med et relevant fagmiljø. Det at areal- og naturressurser var kartlagt på forhånd lettet beslutningsprosessen.

Grunneiere og gjenboere ble involvert i diskusjon om valg av renseløsning. Øvrige innbyggerne hadde indirekte innflytelse via representantene i kommunestyret. Løsningen ble markedsført ved at den ville gi lavere avgifter.

Uten forsvarsetablering i kommunen ville konsekvensen for abonnentene blitt vesentlig dyrere. Med hensyn til negativ respons var enkelte bekymret for at anlegget ville gi sjenerende lukt (Rosenborg 2008).

Kommunen og Forsvarets Bygningstjeneste ønsket at anlegget skulle være et forbildeprosjekt med parkmessig utforming – derav navnet *Rena rensesepark*. Feste Nordøst ble engasjert for lage en utforming som kombinerte funksjonene rensning og park. Da var allerede naturgrunnet og alternative lokaliseringmuligheter utredet. Feste hadde erfaringer fra prosjektering av rensedammene ved Follald Gjenvinning i Østerdalen (Bakke 2008).

**VIDARÅSEN** – Arkitekten som detaljprosjekterte de nye rensedammene har hatt driftsoppsyn for damanlegget fra ferdigstillingen i 1996 til 2009. Gjennom sin arkitekturpraksis i England hadde han erfaring med bygging av 30 lignende anlegg. Hensyn til landskap og vegetasjon er godt ivaretatt fordi anlegget skal fungere som et demonstrasjonsprosjekt.

Fylkesmannens miljøvernkontor satte strenge utslippskrav fordi resipienten er sårbar av hensyn til rekreasjonsformål. Rensekravene for fosfor ble satt strengere enn det som er vanlig for konvensjonelle systemer. Anlegget følges opp en dag i uken, og prøvetaking skjer seks ganger årlig. Prosessen medførte utstrakt møtevirksomhet i startfasen, men utover dette opplever ikke tiltakshaver prosessen som vanskelig. Det at myndighetene var skeptiske til å begynne med kom sannsynligvis av at teknologien var ukjent. Myndighetene støtter i dag ideen og er fornøyd med rensresultatene, og på grunn av en lovendring i 2001 overtok kommunen det formelle tilsynsansvaret fra da av (Browne 2008).

Både Landsbystiftelsen og fagmiljøet ved NLH (nå UMB) har hatt et eierforhold til prosjektet. I planleggings- og gjennomføringsfasene ble det ikke holdt møter med beboerne, men avgjørelser ble gjort på bakgrunn av støtte fra dem: *"Engasjement fra beboerne er nødvendig i gjennomføringen av slike prosjekt"* (Browne 2008). Da damanlegget var nytt fikk innbyggerne opplæring om hva som kan/ikke kan tilføres avløpet. Browne hevder at dette har økt miljøbevisstheten blant beboerne. Browne mener det er best å ha en *adaptiv*, dvs. tilpasning- og endringsbasert, tilnærming når

det kommer til innføring av slike nye systemer. Her forstått som en adaptiv tilnærming til både planprosess, prosjektutvikling, oppfølging og vedlikehold.

**KLOSTERENGA** – Boligbyggelaget Usbl har deltatt i prosjektet fra oppstartsfasen i 1995 og følger fremdeles opp saken. Prosessen ble delt i to parallelle løp: Det ene omfattet tradisjonell byggprosjektering med tegning, beskrivelse, kontrakteringsarbeid o.a. For prosjektering av gråvannsanlegget ble det søkt utslippstillatelse fra Fylkesmannens miljøvernkontor. For øvrig er vanlige helse, miljø og sikkerhetstiltak (HMS) fulgt opp.

Anlegget sjekkes hver fjortende dag i perioden vår til høst. Utover å delta i dugnader for ordinært hagestell, som beskjæring av busker og plantestell, er ikke beboerne involvert i anleggsdriften. *"Det fantes en ildsjel blant beboerne som var spesielt opptatt av gråvannsanlegget. Da han flyttet var det ingen som tok over denne rollen"* (Nilsen 2008). Gasa Arkitekter var involvert fra 1995-2000, landskapsarkitektene Grindaker fra 1998-2000. Begge kontorene hadde tidligere arbeidet med miljørelatert tilpasning og rehabilitering, men begrenset kjennskap til naturbaserte renseløsninger. Arbeidsgruppen hadde som mål å gjennomføre byøkologiske grep som ikke var gjort i Norge før. For å lære av andres erfaringer dro gruppen på studieturer i Europa og Norden.

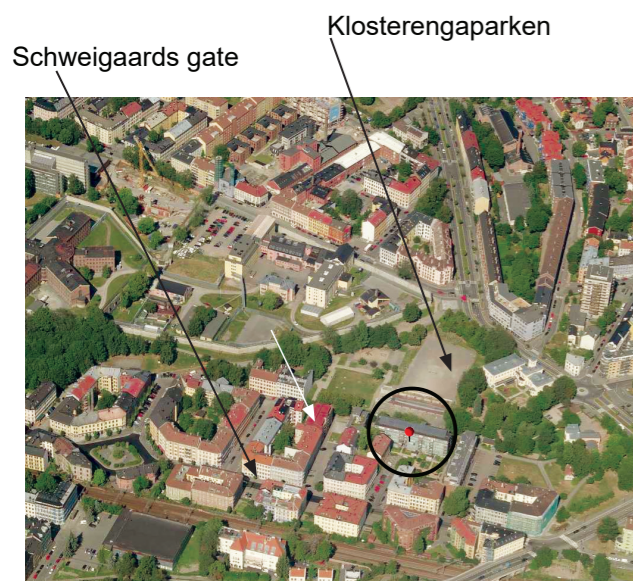
Både arkitekt og landskapsarkitekt opplevde prosessen som mer omfattende enn vanlig. Fischer mener dette, blant annet, hadde å gjøre med manglende forståelse for slike tiltak fra entreprenørs side. Både utbygger, arkitekt og landskapsarkitekt er enige om at prosjektorganisering og anleggsledelse kunne vært bedre. For kontinuitetens skyld bør aktuelle ressurspersoner delta gjennom hele prosjektet – spesielt under implementering av respektive fagområde. En god overlappingspraksis vil forebygge mulige feil som kan skje i ulike prosjektfaser som prosjektering, utførelse og vedlikehold (Fischer 2008; Monsen 2008; Viken 2008). I lys av dette fremheves kommunikasjon mellom involverte fagfolk, samt selve organisasjonsstrukturen, som kritiske faktorer. Felles motivasjon og tro på tiltakene gjennom hele prosessen er fordelaktig. Fischer mener at det, generelt sett, er lettere å få til et vellykket prosjekt hvis beboergruppen er motivert for valgte løsninger. I dette tilfellet ble ikke beboerne involvert, ettersom de flyttet inn i etterkant.

Da vegetasjonsmattene på taket skulle legges skjedde det feil som medførte en senere lekkasje: *"Hendelsen og misforståelsene rundt den satte innføring av grønne tak flere år tilbake her til lands"*. Fischer påpeker at mistenkeliggjøring som kan skje underveis i slike prosesser er svært uheldig. Et annet mistak var at utomhusplanen ikke ble inkludert i *totalentreprisen*. Landskapsarkitektene var på sidelinjen, med et separat budsjett. Men både rensing av avløpsvann og andre utomhustiltak står i relasjon til bygget som helhet. *"Byøkologiske prosjekt må gjennomføres med et langtidsperspektiv. Eventuelle fordyrende anleggskostnader sees i lys av dette"*. Manglende gjennomslagskraft for økologisk byggeri i Norge har, i følge Fischer, å gjøre med lav etterspørsel. Han hevder at Sverige er mer fremme på miljøfronten, og at naturbaserte rensemetoder har vært en nødvendighet i Danmark på grunn av forurenset grunnvann (Fischer 2008).

Arbeidsprosessens kompleksitet må sees i relasjon til byggeprosjektets høye ambisjonsnivå med omfattende

miljøatsinger. Både arkitekt og landskapsarkitekt tror slike prosjekter er enklere å gjennomføre i dag (2008). De er enige om at det foreløpig er for få fagfolk som kan nok om byøkologi. Fischer mener at myndigheter og politikere bør engasjere seg sterkere i dette feltet. Det er behov for mer forskning og utprøving om byøkologi og tverrfaglig samarbeid.

Ansvarlig for drift og vedlikehold ble involvert da anlegget sto ferdig. Nilsen mener at arbeidet skiller seg fra konvensjonelle system ved omfattende dokumentasjon og prøvetaking. Vedlikehold og drift av gråvannsanlegget bedømmes som større enn forutsatt (Nilsen 2008).



#### Klosterenga Økologiboliger

Klosterenga Økologiboliger ligger i Bydel Gamle Oslo, en bydel med til sammen 39.479 innbyggere (Bydel Gamle Oslo 2008).

Tomten avgrensnes av Nonnegata, som er omgjort til gang og sykkelvei i nord, og karrébebyggelse i vest og øst. I sør forbindes kvartalets atkomstvei med Schweigaardsgate – en av Oslos sentrale ferdselsårer.

Klosterengaparken er nærmeste offentlige grøntareal og utgjør et 100 m bredt grøntdrag i strekket fra Galgeberg til Grønlandsleiret (USBL 2000). Før den store bekkelukkingen i 1879 rant Hovinbekken åpen forbi Ensjø og Klosterenga, med opprinnelig munning i Bjørvika ved Grønlandsleiret. Hovinbekken er i dag sterkt forurenset på grunn av lekkasjer i det kommunale kloakknettet (Vann- og avløpsetaten i Oslo 2000).

Klosterenga Økologiboliger har 35 leiligheter med livsløpsstandard, fordelt på seks etasjer. Kvartalet består av økologiboligene og to tilstøtende nabogårder med til sammen 92 leiligheter. Felles uterom er utformet etter økologiske prinsipper, med gråvannsanlegget som opplevelsesrikt landskapslement. Uterommet deles av alle beboerne i kvartalet, mens gråvannsanlegget kun renser avløpsvann fra økologi boligene. Klosterenga Økologiboliger er et byøkologisk forbildeprosjekt med en rekke miljø- og ressurstiltak, som bruk av solenergi, naturbasert gråvannrensing, regnvannoppsamling, grønne vegger og tak.

Adresse: Nonnegata 17-21, 0656 Oslo

**DAL SKOLE** – Prosessen med innføring av naturbaserte avløpsløsninger i Frogn kommune viste seg forholdsvis problemfylt. Prosjektets organisasjonsstruktur fulgte ordinær praksis, med kommunestyre på toppen etterfulgt av en politisk styringsgruppe (5 lokalpolitikere); prosjektgruppe (4 fra kommuneadministrasjonen); referansegruppe (velforeningene, helse- og næringsmiddelavdeling) og tre eksterne konsulenter (Bråthen 2008). Leder av den politiske styringsgruppen var ikke direkte involvert i byggingen av anlegget ved Dal skole, men har fulgt prosessen fra 1999. Han er fortsatt aktiv i kommunens miljøarbeid, og sitter nå i styret for prosjektet Kretsløp Follo (Glennie 2008).

Avdelingsleder ved teknisk forvaltning deltok i perioden 1995-2000. For å oppnå en balansert vurdering av saken ble eksterne konsulenter, som både hadde kompetanse om naturbaserte og konvensjonelle VA-løsninger, engasjert. Konsulentoppgaven for utredning av konvensjonelle system ble konkurranseutsatt til Hjeltnes Cowi, Geofuturum og Folloprosjekt. Kommunestyret vedtok i etterkant at ITF skulle utarbeide forprosjektet for desentraliserte løsninger for Bunnefjordsområde. I tillegg skulle ITF detaljprosjektet anlegget ved Dal skole. Bråthen hevder vedtaket gav ITF utredningsoppgaven uten at oppdraget ble konkurranseutsatt. Realiseringen av pilotprosjektet på Dal skole ble deretter til som et samarbeid mellom ITF og teknisk forvaltning i kommunen (Bråthen 2008). Prosjekteringen av anlegget foregikk uten landskapsarkitekt. Byggingen av anlegget i skolegården skjedde i dialog med daværende rektor Leif Ansgard Andersen. "Lærerne ble ikke involvert da saken ikke vedrørte undervisningen direkte. Utover å følge byggeprosessen og delta i diskusjoner rundt utforming og funksjon har ikke skolen påvirket prosessen med innføringen av renseløsning" (Andersen 2008).

Glennie og Bråthen er enige i at det oppstod vanskeligheter på grunn av uenigheter om renseløsning. Glennie hevder at styringsgruppen måtte jobbe mye med å fremskaffe saklige tilbakevisninger av motstandernes påstander: "En slik pådrift er nødvendig for å gjøre noe nytt, men prosessen ledet ikke til uvennskap" (Glennie 2008). Bråthen stiller seg mer kritisk til uenighetene: "Det var sterke motsetninger hele veien, og de politiske møtene var nokså konfliktfylte". I hans øyne klarte forskermiljøet ved ITF å motivere lokalpolitikere om naturbaserte løsninger på en vellykket måte. Prosessen bød, i følge Bråthen, på mange utfordringer: "Mistenksomhet var til stede fra begge sider, og begge parter argumenterte for sitt uten å være lydøve. Interessemotsetningene oppsto tidlig, samtidig var ikke selve samarbeidet et tema i prosjektmøtene mellom konsulenter og administrasjon. Resultatet var at enkelte forhold ikke ble tatt opp direkte, og at det ble snakket bak ryggen til folk. Politikere bør også kunne forplikte seg til bedre samhandling på tvers av synspunkter. Til slutt opplevde jeg det som ubehaglig å jobbe med saken" (Bråthen 2008). Samtidig ble det arrangert en rekke folkemøter samt informasjonsmøter innad i kommunen. "På folkemøtene ble det snakket åpent ut, og her var det god takhøyde for ulike ståsted" (Bråthen 2008).

I tillegg til uenighet omkring renseløsninger var det diskusjoner om kostnader og terrenginngrep. Bråthen stiller seg kritisk til denne delen av prosessen, og hevder at nødvendig tillit mellom aktørene aldri ble etablert: "Også naturbaserte løsninger krever anleggsveier og terrenginngrep.

*Kostnadmessig kom to av konsulentene frem til at de naturbaserte løsningene ikke ga god nok gevinst [...] Ansatte i kommunen har ikke samme mulighet til å gå ut i pressen og påvirke som uavhengige forskere. Administrasjonen forsøkte å sørge for en nyansert saksfremstilling, men ble hengt ut i avisene og som enkeltpersoner fikk vi vårt politiske pass påskrevet" (Bråthen 2008).*

Glennie har inntrykk av at privatpersoner, med pålegg om å bruke naturbasert renseløsning, ikke setter seg nok inn i saken. Kompetanseheving og lokalt eierskap er sentralt for å lykkes med innføring av ny teknologi. Ledelse og politikere må være med. I *Follo Kretsløp*, et samarbeid mellom seks kommuner om kretsløpsbasert avfallshåndtering i Follo, gis alle kommunestyrene samme type informasjon: "Søppel engasjerer. Etablering av felles kunnskapsplattform virker problemforebyggende" (Glennie 2008).

#### 3.2.4 Landskap og naturgrunnlag

**RENA** – Det er utredet at arealbruksformålene grunnvannsutttak, grusuttak, flyplass samt anleggelse av rensespark skal kunne realiseres på Kåsmoen uten brukskollisjoner (Bolstad & Østerås 1995).

For å oppnå god stedstilpasning ble Geografisk posisjoneringssystem (GPS) brukt for å plassere dammene på Kåsmoen. I tillegg ble det laget nytt kartgrunnlag med 20 cm ekvidistanse for å oppnå presisjon i utformingen. Det ble satt i verk tiltak for bevaring av eksisterende vegetasjon. Atkomstveier frem til dammene, som også skulle brukes i byggefasen, ble stukket ut for å forebygge unødige kjørespor. Renseparken føyer seg godt inn i omgivelsene fordi eksisterende skog og terreng har fått stå igjen mellom bassengene. Landskapsarkitektkontoret fulgte ikke opp i anleggsfasen. De hevder at deres prinsipper for tilbakeføring av bunnvegetasjon for å unngå større sårflater ikke ble etterfulgt (Bakke 2008).

Med hensyn til skjøtsel er jevn og naturlig tynning av skogen påkrevd for å beholde eksisterende parkmessige uttrykk. Utover dette hevder Bakke at behov for en vedlikeholdsplan ikke er så stort. Systemet fungerer godt av seg selv. Gjengroing er ikke et problem på såpass næringsfattige bunnforhold. Derimot er spredning av geitrams på slamdeponiet mer problematisk. Geitrams hører ikke hjemme i en klassisk furumo. Det opprinnelige landskapsbildet forrinnes hvis geitramsen ikke holdes i sjakk (Bakke 2008).

**VIDARÅSEN** – Damanlegget tilknyttet Vidaråsen ligger på privat grunn og arealbrukskonflikter har ikke oppstått. Grunnvannsoppsamling for drikkevannsmål ligger utenfor renseområdet. Fylkesmannen innførte skjerpede renskrav fordi Goksjø både er mottaker av det rensede avløpsvannet, og et populært rekreasjonsområde.

Eksisterende vegetasjon og terreng er bevart. Terrenget er kun bearbeidet i tilknytning til dammenes utforming. Det ble laget en grovmasket vegetasjonsplan i oppstartsfasen. Vassmynte (*Mentha aquatica*) er eneste innførte art, ellers er plantematerialet hentet fra nærliggende våtmarksområder.

Med hensyn til økologisk respons beskriver arkitekten anlegget som en oase. Både vassmynte og stornesle tiltrekker seg sommerfugler. Anlegget fungerer som en selvstendig biotop, og dammene gir gode levevilkår for en rekke insekter, amfibier og fuglearter. Det er etablert en stabil økologisk

balanse og arts mangfold, som forstyrres i minst mulig grad. Det er gjort forsøk med innføring av fisk og ender, men disse har endt opp som føde til hegre og mink. Systemet er, i følge Browne, veldig produktivt. Området utgjør årlig paringsarena for en lokal froskebestand. Etter fire uker er dammene fulle av rumpetroll, og i juni hopper bitte små frosker i alle retninger (Browne 2008). Rødlisterarten stor salamander (*Triturus cristatus*) er registrert av Direktoratet for naturforvaltning.

Det er laget vedlikeholdsplan, og det er fullt mulig for en utenforstående å overta anleggsdriften. Vedlikeholdsplanen bygger ikke på presise kriterier. Området har vist seg å være mindre utfordrende enn forutsatt. Det er viktig å påpasse at røttene ikke tar over i filtermassen. I tillegg må andemat (*Lemna minor*) høstes jevnlig. Dette utgjør størst vedlikeholdsinnsett, og systemet vurderes som lite krevende. Også for vegetasjonen mener Browne det beste er en adaptiv holdning til skjøtsel. "Systemet har naturligvis endret seg gjennom driftsperioden 1997-2008. Dagens skjøtsel er basert på at naturen bør få utvikle seg på egenhånd. Vi luker mindre og mindre for hvert år" (Browne 2008).

Avløpsvannet har en oppholdstid på 60-70 dager i anlegget, derved er det nok tid til at de naturlige prosessene selv tar hånd om rensing og vannkretsløp. Anleggets størrelse har hatt betydning for at vegetasjonssystemet er blitt såpass stabilt. Med hensyn til resirkulering er det gjort forsøk med kompostert biomasse. En lokal bonde henter og sprer andemat på sine jorder (Browne 2008).

**KLOSTERENGA** – Det er ikke oppstått arealbrukskonflikter med innføring av naturbasert renseløsning ved Klosterenga Økologiboliger. Med utarbeidelsen av utomhusplanen ble det fokusert på miljøvennlig materialbruk, nyttevekster og lokal håndtering av overflate og avløpsvann. Det ble lagt opp til grønne tak og vegger for et bedret mikroklima. Det ble også avsatt areal til dyrking, men ettersom beboerne ikke viste interesse, ble ikke ideen om grønnsaksdyrking fulgt opp (Fischer 2008).

Uterommet er utformet med naturen som forbilde og er inndelt i soner som *bekken*, *myra* og *fossen*. Gamlebyen er fundert på tømmerflåter som flyter på grunnvannspeilet. Graving kan medføre lekkasjer og grunnvannsdrenering. Terrenget i uterommet er derfor bygget opp i ulike nivåer. Våtmarksbassenget ble betongstøpt av hensyn til arealeffektivitet. I tillegg var løsningen billigere.

I bunn av *bekken* er det lagt bentonittmembran som må ha press og konstant fukt for å være tett. Ettersom vannet i *bekken* er ferdig rensert, anser ikke landskapsarkitekten en eventuell lekkasje som kritisk. Han ser det som positivt at vannet kan tilbakeføres til grunnvannet. "Ettersom vekslings mellom tørre og vannførende bekker forekommer i naturlige system kan *bekken* gjerne være tørr." For å oppnå et lukket vannkretsløp gjorde vi forsøk med tilbakeføring av rensert vann i Hovinbekken. Forsøket ble ikke fullført, fordi *bekken* var sterkt forurenset og fordi Vann- og avløpsetaten ikke tillot løsningen. Overskuddet av vann fra renseløsningen er heller ikke tilstrekkelig for en god vannføring i *bekken* (Fischer 2008).

I den konstruerte våtmarken er det benyttet ferdige vegetasjonsmatter fra Veg Tech AB. I tillegg til gressartene kvasstarr og flaskestarr (*Carex acuta*, *C. rostrata*) er det plantet blomstrende arter (Fischer 2008).

Utomhusanlegget ledsages av vedlikeholdsmanual fra Grindaker og FDV-dokumentasjon fra Tronslien AS.

Med hensyn til økologisk respons grodde våtmarkssystemet, i følge driftsoperatør, igjen i 2006. I tillegg har det oppstått uønsket algeoppblomstring i anlegget. Driftsoperatøren påpeker at verken dammen eller bekken fungerer optimalt. Ettersom driftsoperatør ikke kjenner til hvilke planter som kan fjernes lukes det ikke i anlegget. Han hevder at det er få gartnertjenester som har tilfredsstillende kjennskap til stell av konstruert våtmark (Nilsen 2008).



#### Dal skole

Frogn kommune har et langsmalt areal på ca 86 km<sup>2</sup>, med grense mot Nesodden i nord, Ås i øst og Vestby i syd. Bunnefjorden danner en ca 7 km grense mellom Frogn og Ås. Kommunens arealer domineres av en lang, delvis hyttebebyggelse og delvis bratt strandlinje, både mot Bunnefjorden og Oslofjorden. Midtre del av kommunen har store landbruksarealer. Grenseområdene mot Nesodden i nord og Vestby i sørvest er skogkledd. I tillegg til hytter langs kystlinjen er bebyggelsen i kommunen konsentrert rundt Drøbak og Dal/Brevik, mens skogbygda ikke er videre utbygget.

Folketallet i Frogn er på rundt 13.000. Dal skole ligger nær Nesoddeveien i Nordre Frogn. Skolen har 14 ansatte og 86 elever (Frogn kommune 2009). Skolebygget ligger i et jordbrukslandskap med spredt bebyggelse, med god adgang til rekreasjonsområder som Åsebukta og Brevikbukta i Bunnefjorden. Kombinert avløpsvann fra skolen renses via en konstruert våtmark med integrert biofilter anlagt i skolegårds ytterkant.

Adresse: Nesoddeveien 207, 1455 Nordre Frogn

**DAL SKOLE** – Renseanlegget ligger innefor skolens areal og har ikke ledet til arealbrukskonflikter. Spørsmål rundt naturgrunnlag, arealbehov for enkelt- eller fellesløsninger, størrelsen på naturinngrep og risiko for grunnvannsforurensning ble utredet i *Forprosjekt – Vann og avløp Bunnefjordsområdet. Alternativ 3* (Jenssen et al. 2000). Ettersom metoden konstruert våtmark kan innføres uavhengig av lokale grunnforhold, ble denne løsningen valgt da områdene i Nordre Frogn viste seg å være uegnet for infiltrasjon. Leder for teknisk forvaltning i kommunen hevder at større naturbaserte fellesanlegg ble vurdert til å medføre like store terrenginngrep som konvensjonelle anlegg (Bråthen 2008).

Anlegget består av to sammenkoblede basseng, hvor forfilteret i første basseng består av ti domer. Her pumpes avløpsvann over et lecafilter som ligger i bunn. Videre renses avløpsvannet via rotsonen til våtmarksplanten takrør (*Phragmites australis*), som gror i den konstruerte våtmarken. "Rundt domene er tilstanden tilnærmet lik slik det var da anlegget ble bygget. Ettersom systemet ikke har åpent vann er det ingen risiko for uønsket algevekst. Ved store nedbørsmengder hender det at vannstanden i våtmarken blir for høy slik at overvann renner ut på nabojordet. Det arbeides i dag med utbedring av anleggsøvervåkning" (Michalsen 2008).

I følge driftsoperatør kontrolleres ikke vegetasjonen tilknyttet anlegget, og det oppgis at vedlikeholdet av den konstruerte våtmarken fungerer bra. "Det er ikke oppstått problemer med gjengroing og det er lite behov for lusing" (Michalsen 2008). Beskrivelsen stemmer dårlig med tilstanden i våtmarken, slik den fremsto på forsommeren 2008. En stor del av takrørbestanden var da fjernet, og filterbedet virket uskjøttet. Dette tilsier at klare kriterier for tilfredsstillende skjøtsel, helst med bilder av anlegget i ønskede tilstand, bør gis til vedlikeholdsansvarlig for anlegget.

#### 3.2.5 Rensemetode

**RENA** – Løsningen som er valgt for renseseparken er basert på enklere rensemetoder enn hva teknisk avdeling hadde erfart med driften av det kjemiske fellingsanlegget. Metoden gir vesentlig mindre utslipp av nitrogen, fosfor og bakterier enn forhenværende mekanisk-kjemiske fellingsanlegg. I tillegg er anlegget lite krevende og reduserer kommunale utgifter og avgifter.

Mens forhenværende fellingsanlegg ga utslipp av aluminiumsulfat i Glomma representerer infiltrasjon i sted-egne løsmasser en kjemikaliefri prosess (Rosenborg 2008). Landskapsarkitekten mener at infiltrasjonsmetoden muligvis er noe dyrere å anlegge, men at anleggsutgiftene oppveies av at driften nærmest går av seg selv (Bakke 2008).

Rena rensesepark får hyppig besøk av både norske og utlandske kommuner. I sitt formidlingsarbeid understreker Rosenborg at nyeste slambehandlingsteknologi bør anvendes. Han understreker også at lukt kan innebære konflikter, og at spesielle metrologiske forhold må kartlegges på forhånd. Moderne anlegg som drives etter biologisk-kjemiske renseprinsipp foregår gjerne under lukkede forhold. Derved blir det enklere å håndtere lukt, og anleggene kan oppføres nærmere tettbebyggelsen (Rosenborg 2008).

Rosenborg ser forbruk av kjemikalier og energi som de mest negative sidene ved konvensjonelle rensemetoder. Bakke og Rosenborg mener at infiltrasjon i løsmasser bør utnyttes i større grad. Der naturgitte forhold ligger til rette for naturbasert rensing anbefaler de dette, uten forbehold. I et bærekraftperspektiv ser de det som mer hensiktsmessig å utnytte naturlige prosesser enn ytterlig tilførsel av forurensende kjemikalier, som ved tradisjonell avløpsrensing. Begge fremhever kunnskapsformidling, vilje og mot til å prøve ut nye og annerledes metoder som viktig for at naturbaserte løsninger skal få større gjennomslagskraft (Bakke 2008; Rosenborg 2008). "Det er spennende for folk å få mulighet til å se hvordan naturen selv håndterer avfallet. Anlegget har et stort pedagogisk potensial og er et godt eksempel på økologisk planlegging" (Bakke 2008).

Når det gjelder forbedringspotensial nevner Rosenborg at det per i dag finnes bedre forbehandlings- og komposteringsmetoder på markedet. Renseparkens opplegg for overvåking og prøvetaking skal også utbedres. Anleggets begrensninger, per i dag, handler om at det slippes for mye slam ut i dammene, og at slammet ikke gjenbrukes som ressurs. Forbehandlings- og slamhåndteringsmetodene skal utbedres. På lengre sikt skal slam føres til komposteringsreaktor. Luktproblem i tilknytning til anlegget anses per i dag (2008) som marginale. Det er, imidlertid, dokumentert lukt ved spesielle lokalklimatiske forhold. Bedre slamhåndtering vil eliminere luktproblemet. Et bedret slamprodukt vil øke mulighetene for gjenbruk i landbruket, som igjen vil redusere slamhåndteringsutgifter. Slike forbedringer bør medføre økt utbredelse av naturbaserte anlegg (Rosenborg 2008).

**VIDARÅSEN** – Damsystemet tilknyttet Vidaråsen er lite krevende når det kommer til energi- og ressursbruk. De fleste naturbaserte anleggene som arkitekten kjenner til har vist høy og stabil renseseffekt. Browne anbefaler naturbasert avløpsrensing under forutsetning av nok tilgjengelig areal og egnet naturgrunnlag. Ettersom slike damanlegg krever jevnlig oppsyn er det også viktig at driftspersonalet er interessert i økologisk renseteknologi. Metoden egner seg ikke for fjerntilsyn, slik som minirensesepark muligvis.

Institusjoner, som skoler og parkanlegg med nok tilgjengelig grøntareal, kan med fordel inkludere naturbaserte renseseparker. Browne har bygget et liknende damanlegg til en institusjon i England. Her har anlegget både ført til økt biomangfold samt utomhusaktivitet og trivsel. Metoden byr, i følge Browne, på mange muligheter med hensyn til å forene nytte, funksjon og estetikk. Konseptet om å omforme et problem til ressurs gjelder også for arealutnyttelse.

Naturbaserte anlegg kan være et ledd i transformasjonen av områder som ligger brakk: "Slike damsystem beriker stort sett det ytre miljø. Anlegget på Vidaråsen har stor opplevelsesmessig verdi, og brukes aktivt i formidlingsøyemed. Det ligger mange verdier i anlegget utover det rent pengemessige" (Browne 2008).

80 prosent av rensingen skjer i forfiltrene, og rensekrav for alle parameter foruten fosfor oppfylles i utløpet til første fakultative biodam. "Målet er å vise at slike anlegg kan gjøres mer kompakte uten at det går på bekostning av driftsikkerhet. Vi søker også å bevise at det ikke er nødvendig å dimensjonere såpass stort" (Browne 2008). Med hensyn til forbedringspotensial utvikles rensesystemet kontinuerlig.

Det arbeides i dag med å gjøre anlegget mer kompakt, og første rensetrinn skal optimaliseres, slik at samme rensesepark kan oppnås på mindre areal. De nederste dammene skal da fungere som en ekstra sikkerhet i tillegg til sine estetiske funksjoner. Forsøk med skjellsand er igangsatt. Bruk av skjellsand vil redusere utskiftingsbehov av filtermasse. Fosformettet filtersand kan gjenbrukes som næringstilsetning i landbruket (Browne 2008).

**KLOSTERENGA** – Alle informantene oppgir at renseseparken er god, og henviser til oppnådd drikkevannskvalitet for utløpsvannet. Prosjektet, som helhet, brukes aktivt i formidling av byøkologiske tiltak. Informantene er enige i at eksisterende infrastruktur og godt fungerende konvensjonelle renseseparker virker begrensende på utbredelsen av desentraliserte løsninger i Oslo sentrum. De mener at slike tiltak er mer aktuelle der hvor infrastrukturen må skiftes eller ikke finnes, som ved hyttefelt eller spredt bebyggelse (Fischer 2008; Monsen 2008; Viken 2008).

Nordeide (VAV) slutter seg til dette: "I Oslo er det aktuelt med separate avløpsløsninger i områder uten etablert infrastruktur, og muligheten for slike løsninger i Oslo er marginale." Nordeide betrakter de byøkologiske prosjektene Klosterenga og Hausmaniakvartalet som "idealistiske forskningsprosjekt uten betydelig overføringsverdi" (Nordeide 2008). Samtlige informanter regner ikke desentraliserte prosjekt som økonomisk bærekraftige der hvor eksisterende infrastruktur fungerer normalt (Fischer 2008; Monsen 2008; Viken 2008; Nordeide 2008). Driftsoperatøren stiller seg også tvilende til om metoden er billigere enn konvensjonell rensing. Uten å kunne vise til konkrete tall, antar Nilsen at driftskostnaden er høyere enn forutsatt. Han hevder at avsatte vedlikeholdsbeløpet til ikke dekker utgiftene. "Anlegget innebærer konstante driftsutgifter. Vi har gjort mye på anlegget som ikke er fakturert" (Nilsen 2008). Fischer påpeker at økologiske hensyn innebærer mer vidtrekkende regnskap, og at sluttede vann- og jordkretsløp representerer god økologisk tankegang. I tillegg til gråvannsløsning er det gjort grep for overvann- og regnvannshåndtering, som medfører redusert belastning på det kommunale nettet. Han mener at metoder som kan synes unødvendige i dag, kan vise seg å være robuste og hensiktsmessige på lengre sikt (Fischer 2008).

Med hensyn til forbedringspotensial kunne anlegget vært dimensjonert mindre. Fylkesmannens miljøvernkontor satte strenge utslippskrav: "Gråvannrensing anlegget må oppfylle samme krav som et stort badeanlegg. Det er satt krav om seks prøvetakninger per år samt årlig rapportering. Dette er både omfattende og dyrt. Kravene burde kunne reduseres når anlegget fungerer normalt" (Viken 2008). Driftsoperatøren etterlyser også en samlet driftsbeskrivelse som gir oversikt over myndighetskrav, utslippstillatelse og anbefalt vannstand. De siste to årene har de måttet endre vannstand i dammen 3-4 ganger. Det er også behov for oversikt over plantene i anlegget sammen med informasjon om skjøtsel. Per i dag må biofilterets deler i bakken graves frem ved behov for ettersyn. Her må det innføres en mer praktisk løsning for å sjekke filtermodulene (Nilsen 2008).

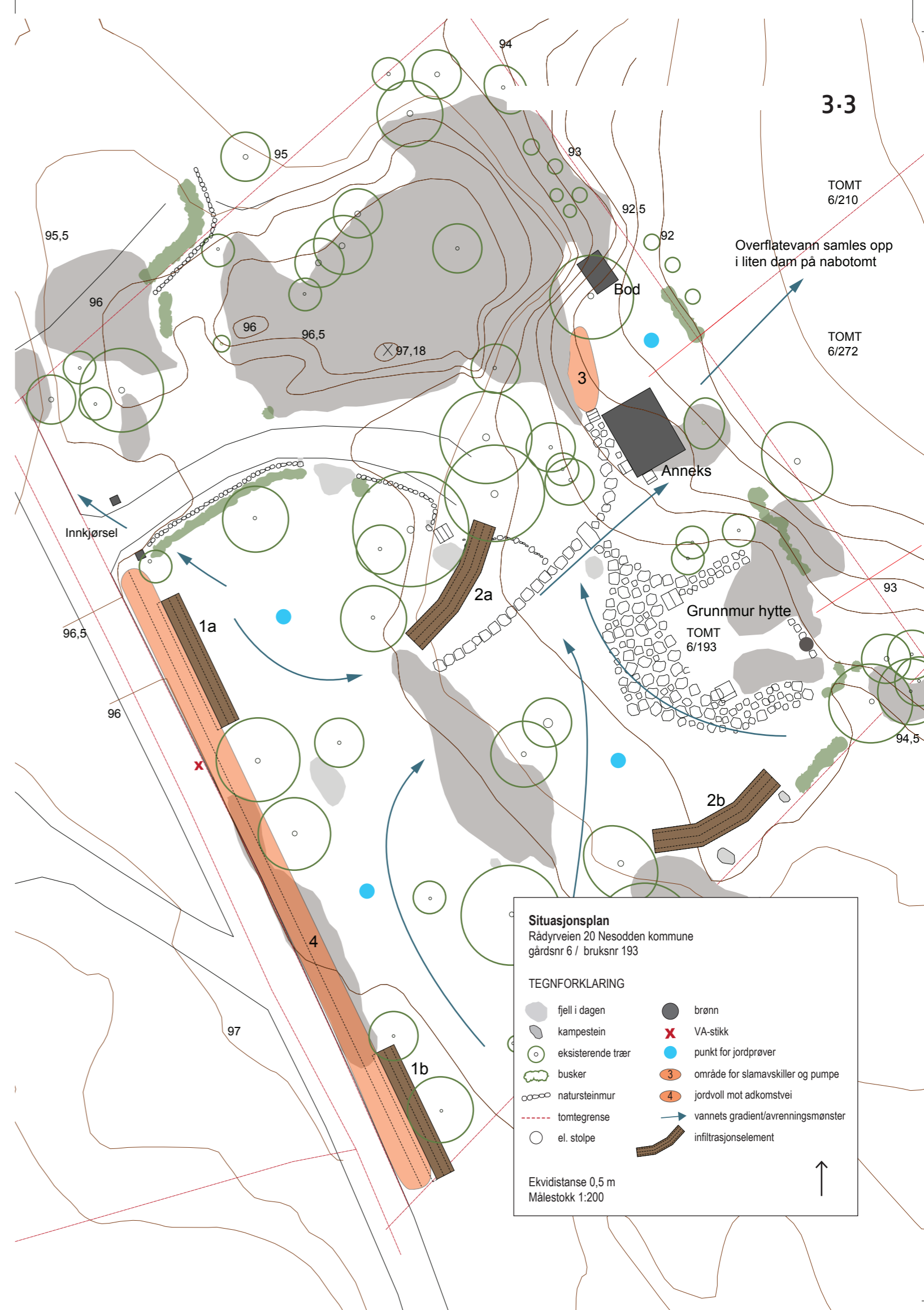
**DAL SKOLE** – Med hensyn til aktualiteten av naturbaserte renseløsninger i Frogn kommune mener Glenne at metodene kan anbefales uten tvil. Dette begrunnes med nødvendigheten av å innføre ressursparende tiltak. På 90-tallet kom innsigelser fra overordnet hold, men i dag er det større aksept for naturbaserte løsninger (Glenne 2008).

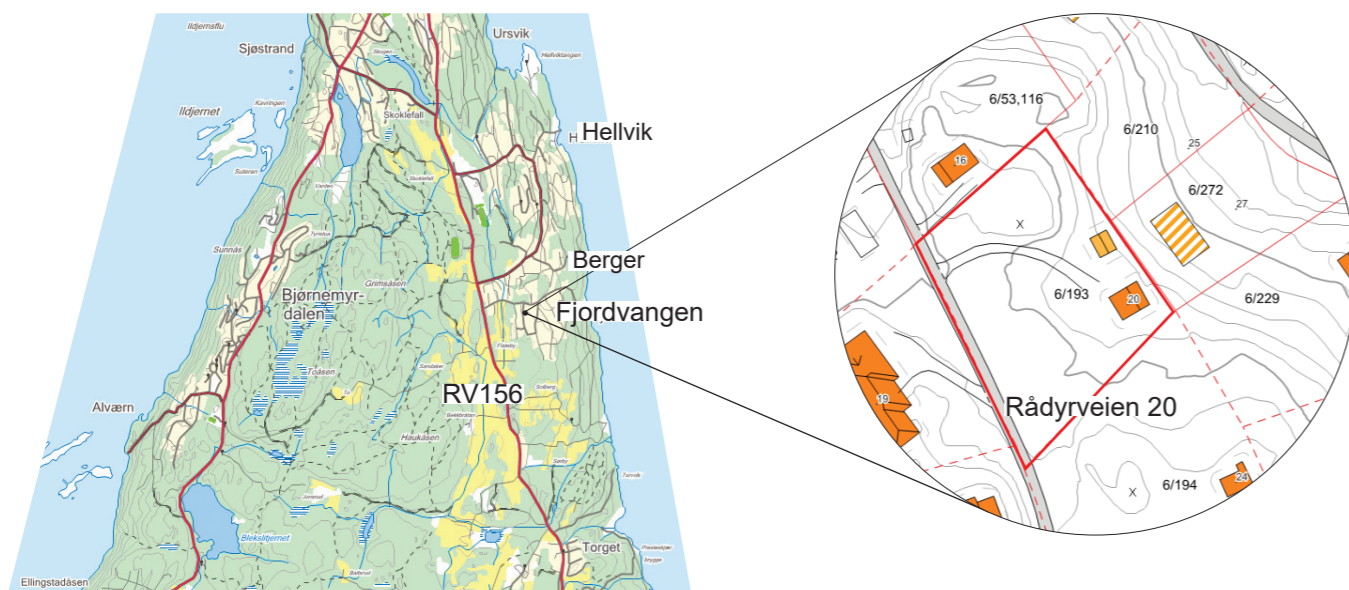
Informasjons- og kunnskapsheving er generelt sett viktig for å oppnå økt gjennomslagskraft for nye metoder. I følge Bråthen har innføringen av naturbaserte løsninger ført til en opprydning i VA-situasjonen for fritidsboliger i kommunen. Utfordringen nå er oppfølgingen. Kommunen har hatt for liten kapasitet til å håndtere alle anleggene. Et nyopprettet miljøkontor skal gi informasjon og veiledning til innbyggerne, og det arbeides nå for å øke kontorets kapasitet (Bråthen 2008).

Anlegget på Dal skole er gjennomført som et pilotprosjekt for å kunne høste erfaringer om naturbaserte metoder. Den konstruerte våtmarken skulle vise at løsningen virker tilfredsstillende, og er økonomisk bæredyktig sammenliknet med konvensjonell sentralisert rensing. Et argument mot tradisjonelle løsninger i Frogn er store transportavstander frem til det sentrale rensenanlegget. I tillegg vurderes det som lite ressursvennlig å bruke drikkevann som fraktmedium for kloakk. Glenne anser naturbaserte løsninger som billigere på lengre sikt. Dessuten tilkommer andre verdier som bedre ressurshåndtering, estetiske og trivselskapende aspekter (Glenne 2008). Bråthen utdyper at kostnadene med naturbaserte løsninger må vurderes ut fra lokale forhold. Han har erfart at det i flere saker viser seg at kostnadsbildet er tilsvarende som for tradisjonelle systemer (Bråthen 2008).

Med hensyn på forbedringer forteller Glenne at det er ført en del diskusjoner om dimensjonering. Flere anlegg i Frogn er overdimensjonerte av sikkerhetshensyn. "Tendensen er at forskning går fremover mens lover og regler står stille" (Glenne 2008). IMT har jobbet for å fremme endringer i regelverket. Selv om det ikke førte til et nasjonalt gjennomslag, har innsatsen gjort at det er gitt tillatelse til å nedskalere fra 40m<sup>3</sup> til 10m<sup>3</sup> for enkelte anlegg i kommunen. Nedskaleringen reduserer materialutgiftene betraktelig. Tilpasninger i lover og forskrifter er viktig for at naturbaserte renseløsninger skal bli konkurransedyktige (Glenne 2008).

Driftsoperatøren opplyser at det er behov for å justere vannstanden i våtmarken ved store nedbørmengder. Det arbeides i dag for å bedre driftsovervåkingen, og det skal installeres alarm som varsler eventuelle uregelmessigheter i anlegget (Michalsen 2008).





**Figur 3.7 – Tomt og omgivelser**

Tomta er på 2,4 mål (avmerket gul), og ligger i Rådyrveien 20 på Fjordvangen, Nesodden kommune. Tomta ligger 1 km fra RV156 og Fjordvangen brygge med badestrand. Nesoddenmarka med turveinett ligger ca 3 km unna. Kart: Nesodden kommune kartportal 2008.

### 3.3 JORDHAUGINFILTRASJON

I dette avsnittet presenteres rensing av gråvann med metoden jordhauginfiltrasjon til planlagt helårsbolig for to familier. Tomta ligger i Rådyrveien 20 i Nesodden kommune. Utbygger ønsker å utnytte tomten i tråd med økologiske prinsipper, hvor et aspekt er å utnytte avfall positivt på stedet. Boligen er tenkt plassert i samme område hvor hyttegrunnmur og anneks står i dag (jf Situasjonsplan, s. 67).

Rensing av gråvann via jordinfiltrasjon er valgt av flere grunner. Området har svært tørre forhold sommerstid, og resirkulering av vannressurser på egen tomt er fornuftig. Stedets skrinne jordsmonn tilsier at rensedium må tilføres. Tilføring av jordmasser muliggjør terrengforming. Det passer godt til tomten, som allerede har flere nivåer og "rom". En jordvoll langsmed fellesveien vil også skjerme for innsyn i hagen. Jordinfiltrasjon er dessuten enkelt å gjennomføre. I tillegg er området regulert til boligformål med en bebyggelsesstruktur bestående av større eneboliger. Gråvannrensing er mest realistisk med hensyn til å få nødvendige tillatelser fra naboer og kommune. For en fleksibel løsning planlegges det allikevel å legge til rette for en intern teknisk infrastruktur som gjør det mulig å kople seg på kommunalt avløpsnett ved senere behov.

På grunnlag av befaring til tomten ble fire lokaliseringer vurdert, henholdsvis 1a-1b og 2a-2b (jf illustrasjoner s. 67 og 71). Etter anbefaling fra Jens Chr. Kjøhler ved Bioforsk Jord og miljø ble alternativ 1a og 1b valgt. Områdene er best egnet fordi rensede avløpsvann her kan filtreres over et større areal av stedeagne masser før det når nabotomtene. Anlegget blir til mindre sjenanse for naboene i nordvest, og i tillegg forebygger større infiltrasjonsareal eventuelle forurensinger fra sigevann. Infiltrasjonsfiltrene 1a og 1b integreres i nevnte jordvoll (jf Situasjonsplan – område 4). Jordvollen foreslås tilplantet med tørketålende gress- og staudearter. Slik planting kan medføre at rotutviklingen

interfererer med fordelingsrøret i infiltrasjonsanlegget, men i denne sammenhengen sees ikke dette som et problem. Plassering 1a og 1b fyller altså mange funksjoner; lokal rensing av gråvann, skjerming av eiendom mot fellesveien i sør, og mer variert topografi og vegetasjon.

#### 3.3.1 Dimensjoneringsgrunnlag

Anlegget planlegges for å motta avløpsvann fra helårsbolig for to familier, og dimensjoneres derfor for 10 pe. I henhold til VA/Miljø-blad nr. 48 Slamavskiller er dimensjonerende vannmengde for gråvann 700 liter per døgn per bolig. For dette anlegget blir dimensjonerende vannmengde 1400 liter per døgn. Vann fra taknedløp, drenering og annet vann som ikke kommer fra sanitærsystemet, skal ledes utenom jordhaugrensianlegget.

#### 3.3.2 Vann og geologiske forhold

Boligen skal tilkoples kommunal vannforsyning. Kommunen kjøper i dag drikkevann fra Asker. Etter flere år med uvanlig lite nedbør er grunnvannstanden i Nesodden kommune forholdsvis lav. Av den grunn er det innført totalforbud mot hagevanning fra 15. juni til 15. oktober for alle som er tilknyttet kommunalt vann. I revisjon av kommuneplanen foreslås det å stille miljøkrav til ny bebyggelse i forhold til VA-infrastruktur, som for eksempel krav om kretsløpsbaserte avløpsløsninger (Nesodden kommune 2006).

Berggrunn består av gneis med strandavsetninger over. På tomtas øvre platå, hvor infiltrasjonsfiltrene 1a og 1b er plassert, er avsetningene dominert av sand og grus. Forsenkningen nordøst på tomten er dominert av siltig sand (jf Figur 3.9 – oransje felt), og disse massene er mindre permeable (Sørensen 2008).



**Figur 3.8 – Jordartene på tomten**  
Sommeren 2007 ble jordkvalitet og massenes kornfordeling undersøkt. Analyse av jordprøvene er gjort ved AnalyCen laboratorium i Moss. Foto: Sørensen 2007.

**Tabell 3.1 – Kornfordelingsanalyse**

Prøvenr.	Silt %	Sand %	Jordart*	Leirinnhold*	Mold*
1	33	67	5	2	3
2	13	87	5	2	3
3	14	86	5	2	3
4	34	66	5	2	3
Prøvetakingen for samtlige prøver er tatt i de 20-30 cm øvre jordlag					

\* Jordart 5: Siltig mellomsand

\* Leirinnhold 2: 5-10 %

\* Moldklasse 3: Moldholdig 4,5-12 %

#### 3.3.4 Hydraulisk kapasitet og renseseffekt

Terrengoverflaten hvor infiltrasjonsfiltrene 1a og 1b er plassert heller mot nordvest, og vannledningsevnen i massene på øvre platå er forholdsvis gode (jf Figur 3.9 – lys oransje felt).

Ved krav om sikre tall for hydraulisk kapasitet må det gjennomføres prøveinfiltrasjon. Alternativt beregnes hydraulisk kapasitet på grunnlag av kornfordelingsanalyse, slik som i dette tilfellet (jf Tabell 3.1). I det bygde anlegget skal gråvannet renses gjennom infiltrasjonsfiltre med jordmasser av typen filtersand med *infiltrasjonskapasitet klasse B* (jf Figur 3.10 – Sandfilterdiagram).

Hydraulisk kapasitet beregnes etter formel (jf Boks 3.4), og utgjør:

$K = 7$  meter per døgn

$M = 0,3$  meter

$B = 2$  meter (3 meter inklusiv 0,5 meter skråningsareal)

$I =$  helningsgradient på 4 prosent

Jordmassenes hydrauliske kapasitet ( $Q$ ) beregnes til  $1,51 \text{ m}^3$  per døgn. Infiltrert gråvann vil sige mot nordvest som sigevann/overflatenært grunnvann.

Gråvann inneholder verken store mengder fosfor, nitrogen eller bakterier, og filtersand med infiltrasjonskapasitet klasse B har høy rensesevne (jf Figur 3.10). Ettersom husstandene i nabolaget er tilkoplede kommunal drikkevannforsyning er det ingen fare for at gråvannrensianlegget vil forurense drikkevannet.

**Boks 3.4 – Hydraulisk kapasitet**  
Beregning av hydraulisk kapasitet skjer etter formelen:

$$Q = K \cdot M \cdot B \cdot I$$

$Q$  = Jordmassenes hydrauliske kapasitet ( $\text{m}^3$  per døgn)

$K$  = Jordmassenes vannledningsevne (meter per døgn)

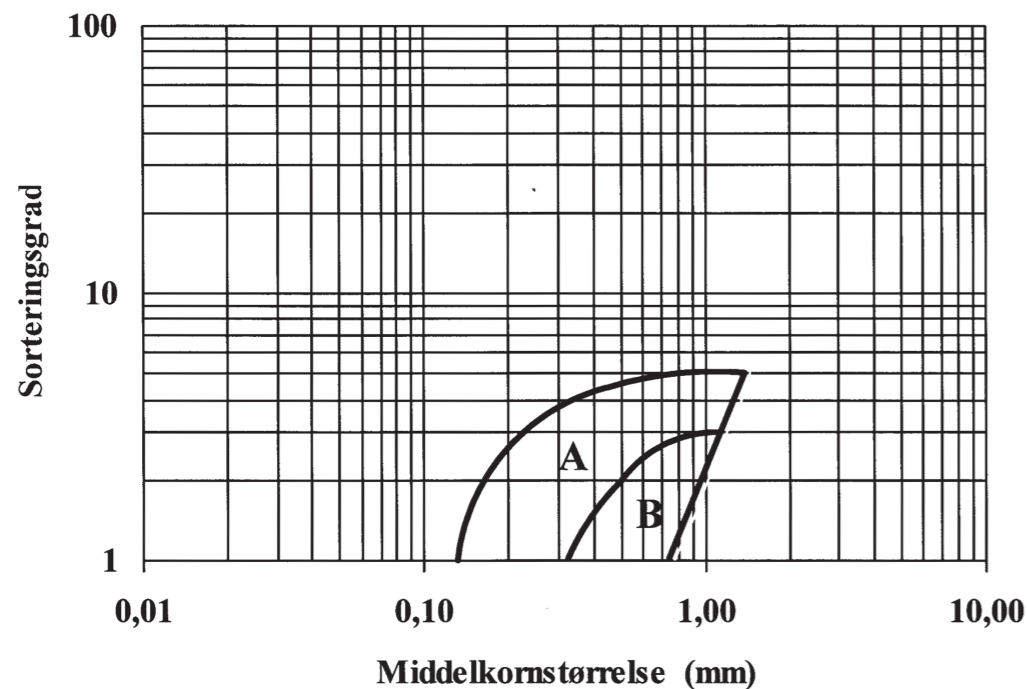
$M$  = Jordmassenes nyttbare tykkelse til transport av infiltrert avløpsvann (meter)

$B$  = Bredden på området som benyttes til transport av infiltrert avløpsvann, infiltrasjonsbassengets lengde i meter

$I$  = Gradienten på jordmasser med lav vanngjennomtrengelighet, terrengets helning



**Figur 3.9 – Jordartenes egenskaper**  
Lys oransje felt viser avsetninger dominert av sand og grus. Mørkere oransje felt viser avsetninger dominert av siltig sand.



**Figur 3.10 – Sandfilterdiagram for valg av filtersand**  
Sortering er forholdet mellom D<sub>10</sub> og D<sub>60</sub> i korngraderingsdiagrammet  
D<sub>10</sub> = kornstørrelse for skjæringspunktet mellom 60 prosentlinjen og kornfordelingskurven. D<sub>60</sub> = kornstørrelse for skjæringspunktet mellom 60 prosentlinjen og kornfordelingskurven (Køhler 2008).

### 3.3.5 Beskrivelse av gråvannsanlegget

Figur 3.11 viser anleggets plassering med rørføring. Figur 3.12 viser oppbygningen av infiltrasjonsfilter 1a sammen med slamavskiller og pumpekum.

Selve gråvannsløsningen består av:

- *Slamavskiller* med våtvolum på 4 m<sup>3</sup>
- *Pumpekum* med støtbelaster
- *To jordinfiltrasjonsfiltre* med samlet filterflate på 35 m<sup>2</sup>

Avløpsvann fra boligen skal ledes med selvfall til slamavskiller og pumpekum (jf Situasjonsplan – område 3). Faste partikler holdes tilbake i slamavskilleren. Herfra ledes gråvannet med selvfall til pumpekummen, før det når infiltrasjonsfiltrene 1a og 1b.

Slamavskiller og pumpekum plasseres nært inntil kollen for å oppnå størst mulig avstand til naboer i nord. Vannledningsrøret ledes i grøft som følger i kant med kollen og videre i felles ledningsgrøft langsmed innkjørselsveien (jf Situasjonsplan). Slamavskilt gråvann fordeles over filtermassen via et perforert rør, og siver ut i jordmassene. Renseprosessene fortsetter når gråvannet spres videre i stedeagne masser.

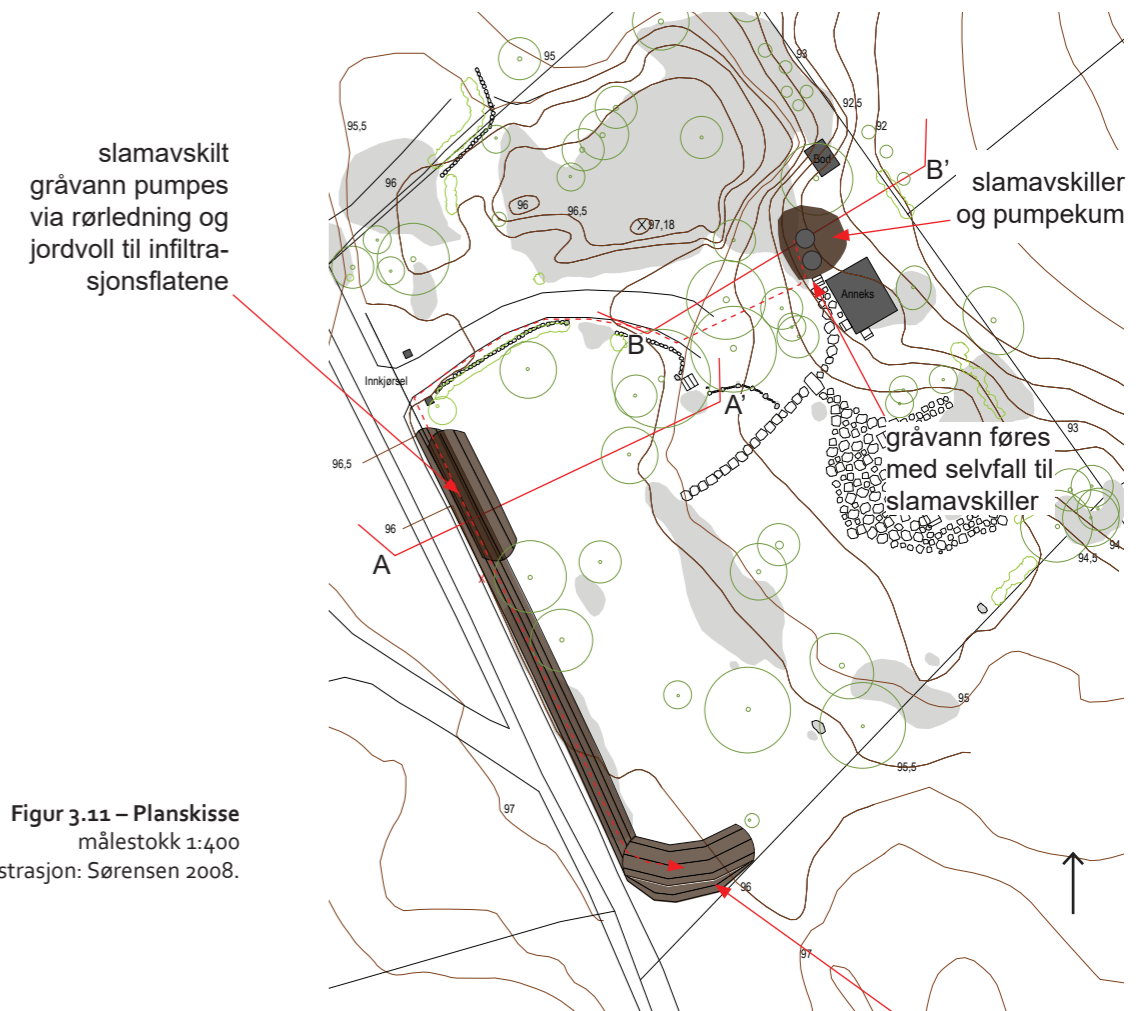
I *Norsk Standard* og NFK og NORVARs *VA/Miljø-blad nr. 48 Slamavskiller* stilles det krav til utforming og nedsetting av slamavskiller. I dette tilfellet tilsier beregningene at slamavskilleren må ha et våtvolum på 4 m<sup>3</sup>. Slamavskilleren skal også ha låsbart lokk. Ettersom gråvannet skal fordeles på to infiltrasjonsfiltre anbefales det installasjon av to pumper i pumpekummen. To pumper gjør systemet mer robust fordi det ene infiltrasjonsfilteret fortsetter å rense hvis den andre pumpen skulle havarere.

*Slamavskilleren* fundamenteres på et tykt lag friksjonsmasse, det vil si sand, singel pukk av minst 0,2 m tykkelse. Massenes kornstørrelse må ikke overstige 32 mm. Byggegrova må dreneres slik at grunnvannstanden senkes, og det må sørges for at drens vann ikke når gråvannrensaneanlegget. Fundamentet må avrettes og komprimeres godt. Slamavskilleren tildekkes med friksjonsmasser som skal nå over inn- og utløpsrørene. Lokket på slamavskilleren må alltid være tilgjengelig for inspeksjon. Av sikkerhetshensyn er det lurt å plassere en betongring med lokk over både slamavskiller og pumpekum. Arealet rundt installasjonene dekkes med jord og tilplantes slik at inngrepet føyer seg godt inn i omgivelsene.

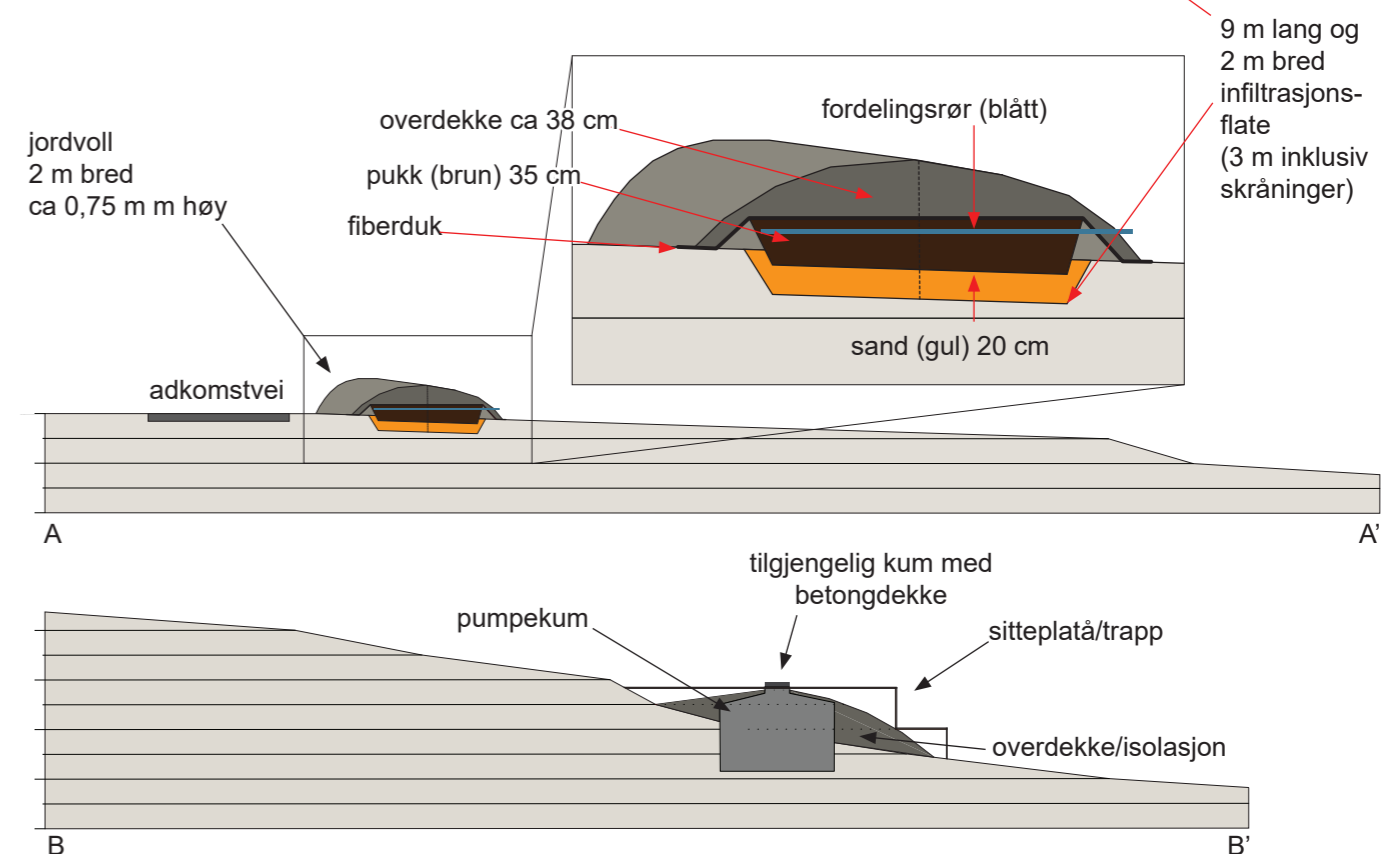
*Pumpekummen* skal være tett og være uten sikkerhetsoverløp. Pumpe, pumpekum og røropplegg skal være laget av korrosjonsbestandig materiale, slik at de tåler avløpsvannet og gassene som dannes. Pumpekummen må ha alarm som reagerer på for høyt vannivå. I dette tilfellet tilsier dimensjonerende beregninger at pumpene skal ha en pumpekapasitet på 1,2 liter per sekund, og et støtvolum på 108 liter per pumpestøt.

Pumpekummen er på 750 liter, og ligger i dette tilfellet lavere enn infiltrasjonsfilteret. For å unngå at vann som står i pumpeledningen ikke strømmer tilbake til pumpekummen anbefales montering av en tilbakeslavsventil.

I dette tilfellet bygges *jordinfiltrasjonsfiltrene* på terreng, utformet med en lengde på 9 m og en bredde på 2 m per filter. Jordvollene bygges opp lagvis med et overdekningslag som tilplantes, et fordelingslag av pukk eller leca med infiltrasjonsrør, og et lag filtersand som legges rett på stedlige jordmasser (jf Figur 3.12 – Snitt A-A').



**Figur 3.11 – Planskisse**  
målestokk 1:400  
Illustrasjon: Sørensen 2008.



**Figur 3.12 – Snitt A-A' og B-B'**  
ute av målestokk  
Illustrasjon: Sørensen 2008.

Før jordvollene legges opp fjernes eksisterende vegetasjon over et areal på 5 x 20 m (jf Figur 3.13 – grønne felt). Overflaten på feltene rubbes først opp på tvers av fallretningen (jf Figur 3.13 – røde piler). Filtersanden legges deretter opp på de vegetasjonsfrie flatene. Det må ikke graves i rensearealet nedenfor filterareal (jf Figur 3.13 – gul flate).

Sandlaget mellom filterflate og stedlige masser skal være minimum 30 cm. Sanden legges opp som en horisontal og plan toppflate på 18 m<sup>2</sup>. Setningsproblemer forebygges ved at sanden komprimeres godt. Rundt toppflaten bygges det opp sandrygger som også komprimeres med spade. Filterflaten dekkes med et lag pukkk eller leca. Pukken må være ren for silt, med maksimum siltinnhold på 1 prosent. Pukkfraksjonene skal være mellom 16-22 mm. Alternativ til pukkk er lecaproduktet *Filtralite*, med fraksjoner på mellom 10-22 mm. Pukk eller leca legges som et horisontalt lag med 20 cm tykkelse. Infiltrasjonsrørene legges i pukklaget. Disse har hull i bunn satt med 1 m avstand. Hulldiameter varierer utover i filteret. I dette tilfellet må det lages 9 hull per rørlengde. Rørene tildekkes med minimum 5 cm pukkk (16-22 mm). Hele pukklaget tettes med en fiberduk som har høy gjennomtrengelighet for luft og vann. Til slutt dekkes jordhaugfilteret med lokale jordmasser. Overdekningslaget skal være minimum 0,5 m. I nedre halvdel av overdekningslaget skal det ikke være stein større enn 15 cm. I dette tilfellet skal jordhaugfiltrerene inngå i en større jordvoll (jf Situasjonsplan – område 4).

Av sikkerhetshensyn bør det settes ned peilerør i filteret. Det bør også være avskjærende drenering ovenfor filteret. I dette tilfellet gir grøften som følger adkomstveien god nok drenering.

Behandling av toalettavløp (gulvann og brunvann) omtales ikke her. I detaljeringsfasen bør flere kretsløpsløsninger vurderes. Et eksempel på en slik helhetlig tilnærming er *Akvatrons systemet* – et produkt for håndtering av toalettavløp for helårs- og fritidsboliger: “komplett system for håndtering av toalettavløp består av toalettstol, sykklon for separering av faste partikler og spylevann, komposteringsbeholder, UV-anlegg og utslippsarrangement. Toalettstolen kan ha urinseparering, og urin ledes da til oppsamlingstank. Slamavskilt vann ledes til filtreringsanlegg i samsvar med VA-miljøblad nr. 59 Lukkede infiltrasjonsanlegg [...]”

*Aquatrons systemet med urinseparering er velegnet der det er ønske om å benytte kretsløpsteknologi. Urin og hygienisk sikker kompost kan med dette systemet nyttiggjøres på egen eiendom til gjødsel og jordforbedring” (Aasen & Køhler 2005).*

En utvidet kretsløpsløsning for dette gråvannsanlegget kan bestå av:

- Gjenbruk av gråvann til hagevanning i sommerhalvåret, og gjenbruk av gråvann som spylevann i toalett.
- Urinseparerende toalett og lagringstank. Dette gir mulighet for lokalt gjenbruk av næringsstoffer til hagegjødsel.
- Komposttoalett og tank for kompostering av fekalier. Dette gir mulighet for lokalt gjenbruk av næringsstoffer til jordforbedringsformål.



**3.13 – Jordhauginfiltrasjonsflater**  
Gult markerer infiltrasjonsareal i stedeagne masser.  
Grønn markerer infiltrasjonsflater.  
Illustrasjon: Sørensen 2008.

#### 4 OPPSUMMERING

I dette avsnittet oppsummeres erfaringer fra intervjuer, praktiske og teoretiske studier som er omtalt i dette heftet.

##### 4.1 Naturressurser og integrert design

**Økosystemtjenester beskriver funksjonene i naturen som påvirker og regulerer det fysiske miljøet, funksjoner som også dekker menneskers behov.**

**Grunnstoff sirkuleres internt i økosystemet via luft, vann, jord, næringskjeder og fysisk transport.** Dagens lineære prosesser gir opphopning av avfall, luftforurensing og problemer med vannbalansen i tettbygde strøk. Løsninger basert på lukkede kretsløp og naturens sirkulære omsetning bidrar til å snu dette bildet.

**Global oppvarming leder til økt nedbør og endrede nedbørsmønstre i Norge. Det er behov for nye vannhåndteringsstrategier.**

**Naturlige våtmarker har betydning for kvaliteten på jord-, vann- og vegetasjon i global skala.** Befolkningsvekst, utbygginger og landskapsinngrep gjør at naturlige våtmarkssystemer i dag er truet. Både naturlige og konstruerte natursystem med varierte artsinnslag øker opplevelseskvaliteten i våre omgivelser. Vannfordrøyning og forurensningskontroll via konstruert våtmark er et mulig bidrag til både biologisk og designmessig mangfold.

**Rensning av vann og avløpsvann utgjør 1/3 del av vannregningen i norske husstander.** For mye vann i systemet skaper store driftsutfordringer. Gjenbruk av rensert avløpsvann kan redusere bruken av drikkevann som transportmiddel for kloakk. Gjenbruk og vannsparende tiltak bidrar til redusert belastning på kommunale avløpsnett.

**Separering ved kilden er smart i et energi- og miljøperspektiv.** Avløpsvannet fortynnes av tilført transportvann som drikkevann og overvann. Prosessering mot et konsentrert slamprodukt er energikrevende. Utvikling av kildesortende metoder og tilhørende hente- og fordelingsrutiner er sentralt for et kretsløpsbasert avfallshåndteringssystem.

**En del av dagens kunstgjødselbruk kan erstattes av næringsstoffer fra avløp og husholdningsavfall.** Riktig etterbehandling av avløpsvann gir et luktfritt og jordliknende jordforbedringsmiddel med tilnærmet lik effekt som kjemisk fremstilt gjødsel.

**Effekten av jordbaserte rensemetoder og renseprosesser er analoge med konvensjonell rensing.** Naturbaserte renseanlegg kan enkelt integreres i landlige miljø. Samtidig kan en utforming basert på slike metoder vitalisere urbane strøk.

*“There is an obvious synergy between the need to create networks of open space to serve social needs and new approaches to open systems of urban water management”  
(Mossop 2006).*

**Dynamikken i naturen innebærer at det oppstår ubalanse i naturlige og konstruerte natursystemer fra tid til annen.** All bruk av levende materiale krever jevnlig oppfølging. Samtidig kan naturhermende systemer oppnå høy stabilitet over tid.

**Etablering av naturbaserte renseanlegg krever kunnskap om stedlige naturtyper.** Bruk av sammensatte plantekulturer bidrar til å gjøre konstruerte system opplevelsesrike og robuste. Stedlig vegetasjon etablerer seg gjerne godt og kan bidra til å motvirke og forebygge uønsket spredning av invaderende arter.

**Større anlegg, som Rena og Vidaråsen, viser seg mer driftssikre og stabile enn de mindre, som Klosterenga.** For å sikre tilfredsstillende drift bør det settes av midler i prosjektets totalbudsjett til oppfølging i anleggsfasen og til permanent drift. Utfyllende FDVU-manualer er en viktig driftsoppfølgingsstøtte.

**Naturbaserte rensemiljø bidrar til multifunksjonelle grøntanlegg.** Åpent vann og våtmarksbiotoper er fascinerende landskapselementer. Blågrønne innslag kan fylle mange funksjoner fra tradisjonelle rekreasjon- og parkelementer til felt med energiskog. Integrert bruk av økosystemtjenester kan forebygges og bøte på problemer knyttet til fortetting. Slike anlegg er også en pedagogisk ressurs.

##### 4.2 Kretsløpslandskap

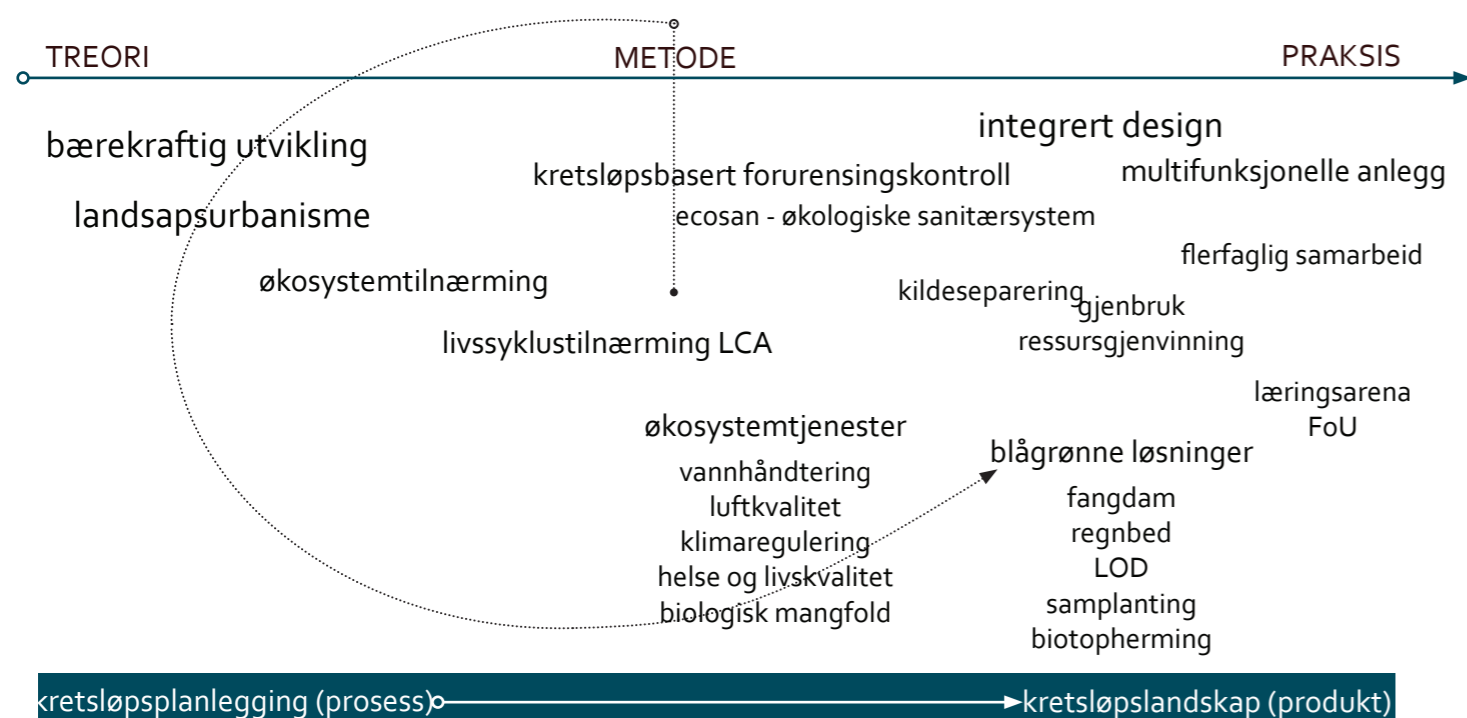
**I et bærekraftperspektiv skal naturressursene forvaltes slik at de ikke forringes for fremtidige generasjoner.**

**Kretsløpsløsninger handler om å håndtere energi, avfall og vann for bosteder og virksomheter.** Alle som bor eller arbeider på et sted er en del av et kretsløp. Målet er å skape boligmiljøer som bygger på en holdbar ressursforvaltning, hvor energiforbruk og avfall minimeres samtidig som husholdning og gjenvinning maksimeres.

**En kretsløpsbasert utforming bygger på et likestillt forhold mellom materialenes egenskaper, funksjoner og estetiske merverdi.**

**Kretsløpsplanlegging handler om å legge opp til en infrastruktur som styrer mot rette valg.** Det er fullt mulig å forme omgivelser som stimulerer til ønskede forbruksmønstre.

**Etablering av kretsløpslandskap bør skje på grunnlag av koplet kunnskap mellom fagfolk som landskapsarkitekter, planteforskere, økologer, ingeniører, hydrologer og våtmarksbiologer.**



Figur 4.1 – Tankekart

**Popularisering av forskningsbasert fagstoff er nødvendig for at ny teknologi skal tas i bruk av flere.** Innføring i naturens prosesser og sykluser kan bidra til interesse og nysgjerrighet om økologisk basert teknologi. Større tilbud av enkle brukerveiledere vil bidra til økt gjennomslagskraft for slike løsninger.

Det er laget fire temaark som følger dette heftet

- **Temaark 1 – Rena rensesepark**
- **Temaark 2 – Vidaråsen Landsby inkludert Vidaråsen – vegetasjon**
- **Temaark 4 – Dal skole**
- **Temaark 3 – Klosterenga Økologiboliger inkludert Klosterenga – vegetasjon**  
se [www.stenbergsorensen.net](http://www.stenbergsorensen.net) (under publikasjoner)

### 4.3 Forankring, formidling og videreutvikling

**Politisk vilje er sentralt for å oppnå økt gjennomslagskraft.** Politikere og planleggere bør tilrettelegge for handlingsrom gjennom etablering av utprøvningsarenaer hvor nye klima- og miljørettede metoder kan settes ut i livet.

**Flerfaglig kommunikasjon, organisasjonsstruktur og tydelig ansvarsfordeling er viktige suksessfaktorer ved innføring av nye praksiser.** Etablering av felles forståelsesramme og tillit mellom aktørene bør prioriteres fra starten av. Overlapp i kunnskapsoverføring gjennom alle planleggings- og gjennomføringsfaser er også nødvendig.

**Motiverte og informerte brukere kan lette prosjekt gjennomføring og senere vedlikehold av anlegg.** Desentraliserte, naturbaserte løsninger synes å kreve større engasjement fra brukerne. Dette innebærer mer vekt på formidling og informasjonsarbeid fra byggeledelse så vel som fra administrativt hold. For økt forståelse av hvordan innførte system fungerer bør brukere og/eller potensielle brukere involveres. Eierskap til prosjektet er gunstig med hensyn til vedlikehold og ivaretagelse av det bygde.

**Det er lite forskning rundt økonomiske spørsmål om naturbaserte anlegg versus konvensjonelle.** Forsøk med å unytte biomasse fra større våtmarkssystem for energiformål og som råmateriale er både økologisk og økonomisk interessant. Spørsmål om økonomi og verdisyn bør både utredes og defineres i relasjon til prinsipper for bærekraftig utvikling.

**Det er lite forskning rundt spørsmål om naturbaserte anlegg er mer eller mindre arealkrevende enn konvensjonelle.** Tre av fire undersøkte anlegg er overdimensjonerte av hensyn til rensesmessig sikkerhet. På grunn av høy dokumentert rensesgrad kan naturbaserte anlegg som bygges i dag nedskaleres. Studier om arealbruk vil bidra til mer tilpassede dimensjonerings- og renseskrav. Nedskalering vil bidra til at metoder for økologisk renses teknologi blir mer konkurransedyktige i markedet.

**Det er lite forskning rundt skjøtsel og drift av naturbaserte anlegg.** Få anleggsgartnere har kompetanse om skjøtsel og drift av konstruert våtmark. VA-konsulenter og entreprenører er lite oppdatert om naturbaserte og integrerte løsninger. Vi trenger mer kunnskap om oppbygging og drift av konstruert våtmark, naturhermende biotoper, multifunksjonelle anlegg, samt klima- og miljøvennlig parkdrift. FDVU-planer med særlig vekt på økologisk drift bør utarbeides i langt større grad.

**Konkrete erfaringer fra gjennomførte prosjekter har stor overføringsverdi.** Flesteparten av de intervjuede er enige om at en reell kunnskapshøving må til for å oppnå mer helhetlig stedsutvikling og utbyggingspraksis. Det bør realiseres flere prosjekter innen byøkologi med en integrert prosessdesign- og utførelse. Flere forbildeprosjekt vil bidra til at miljøoppsatser ikke står og faller på individuell igangsettelse eller idealistisk basert pådrift. Samtidig spiller såkalte ildsjeler en svært viktig rolle med hensyn til å bane vei for nye løsninger.

### Boks 4.1 – Cities as Living Organisms (MVRDV 2009)

*"Cities can be seen as organisms that live, breath, grow and change like a plant or tree, so the city and the people in it should be viewed as part of nature, not as something contrary to nature. The challenge for dense cities with complex infrastructural networks and thousands of people filling the streets every day is to rethink the relationship between nature and the city, giving nature a new place, not necessarily as parks on the ground, but integrated in the buildings."*

Kilde: MVRDV, Rotterdam 2009. *Cities as Living Organisms* (s 28); Holm & Kjeldsen (red.) Louisiana Museum of Modern Art 2009.



## KILDER

- Andersen, L. A. (2008). *Intervju med Leif Ansgard Andersen, tidligere rektor ved Dal skole* (12.2.2008).
- Ariansen, P. (1996). *Vitenskap og miljø – miljøkrise, vitenskap og verdi*, Ad Notam Gyldendal AS 1996.
- Aasen, K. & Kähler, J. Chr. (2005). *Vurdering av Aquatron biologisk toalettssystem*. Jordforsk rapport 35:2005.
- Bakke, H. (2008). *Intervju med Helge Bakke, landskapsarkitekt MNLA for landskapsplan til Rena Rensepark utført av FESTE Nordøst AS* (20.3.2008).
- Baumann, H. & Tillman, A. M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA - An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*, Studentlitteratur 2004.
- Bolstad, K. & Østerås, T. (1995). *Georessursplan Åmot kommune*, Geofuturum AS 1995.
- Botkin, D. B. & Keller, E. A. (2003). *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. New York, Wiley. XXVII.
- Black, M. (2010). *Avføring – et helse- og miljøskadelig tabu* (s. 16-17) Le Monde diplomatique. Januar 2010.
- Braskerud, B. C. (2001). *Sedimentation in Small Constructed Wetlands. Doctor Scientarum Theses*, Norges Landbrukshøgskole 2001.
- Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed wetlands? *Water Science and Technology* 35:1997.
- Browne, W. (2008). *Intervju med Will Browne, sivilarkitekt og prosjektleder for det naturbaserte renseanlegget tilknyttet Vidaråsen Landsby* (5.3.2008).
- Brundtland, G. H. (1987). *Vår felles framtid*. World Commission on Environment and Development. [Oslo], Tiden norsk forlag.
- Bråthen, A. (2008). *Intervju med Arne Bråthen, avdelingsleder i teknisk forvaltning, Frogn kommune* (25.2.2008).
- Bugge, H. C. (2006). *Lærebok i miljøforvaltningsrett*. Oslo, Universitetsforlaget.
- Butters, C. (2004). Et helhetlig verktøy for evaluering av bærekraft. *Plan 1:2004*.
- Bydel Gamle Oslo (2007). *Bydel Gamle Oslo – Årsmelding 2007*.
- Corner, J. (2006). *Terra Fluxus*; Waldheim, C. (red.) *The Landscape Urbanism Reader*. Princeton Architectural Press, New York 2006.
- Cordell, D., Schmid-Neset, T., White, S. & Drangert, J.O. 2009. *Preferred Future Phosphorus Scenarios: A Framework for Meeting Long Term Phosphorus Needs for Global Food Demand*. In Ashley et al. (eds), Int. Conf on Nutrient Recovery from Wastewater Streams, May 10 - 13, 2009, Vancouver Canada. IWA publishing New York.
- Dammann, A. & Leer-Salvesen, E. (2002). *Kampen om kloakken*.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. (2008). *Ecosan - Ecological Sanitation*, [2.gtz.de/ecosan/english/index.html](http://2.gtz.de/ecosan/english/index.html) (lest 5.4.2008).
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. (2008). *Data sheets for ecosan projects*, [2.gtz.de/ecosan/english/publications-GTZ-projectdatasheets.htm](http://2.gtz.de/ecosan/english/publications-GTZ-projectdatasheets.htm) (lest 10.2.2008).
- Direktoratet for Naturforvaltning (2007). *EUs vanddirektiv, dirnat.no* (lest 19.3.2007).
- Dramstad, W. E., Olson, J. D. & Forman, R. T. (1996). *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*, Harvard University Island Press.
- Emilsson, T. (2007). *Forelesning om grønne tak og grønttytefaktor ved Augustenborgs Botaniska Takträdgård, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) og Västra Hamnen i Malmö* (9.8.2007).
- Encyclopædia Britannica Online. (2008). Boundary ecosystem. I: [britannica.com/eb/article-70762/boundary-ecosystem](http://britannica.com/eb/article-70762/boundary-ecosystem) online database (lest 8.1.2008).
- Environmental Law Institute (2003). *Conservation Thresholds for Land Use Planners*. Washington D.C., Environmental Law Institute (ELI).
- Enzensberger, T. & Hovind, J. (2005). *Brukerveiledning for kompost og slam i grøntanlegg*. Faglig utviklingsseksjon for grøntanleggssektoren (FAGUS), [orio.no](http://orio.no) (lest 14.2.2008).
- Fischer, L. (2008). *Intervju med Lars Fischer, Grindaker AS landskapsarkitekt MNLA, utfører av utomhusplan for Klosterenga Økologiboliger* (7.3.2008).
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Frogn kommune (2008). *Litt om Frogn*. [frogn.kommune.no/portal/](http://frogn.kommune.no/portal/) (lest 12.2.2008).
- Frogn kommune (1999). *Referat fra Vedtak – behandling i Kommunestyret* 14.6.1999. Frogn kommune.
- Fry, A. (2006). *Facts and Trends: Water and Sustainable Development Program* (WBCSD).
- Glenne, H. (2008). *Intervju med Halvor Glenne, sivilingeniør og lokalpolitiker* (22.2.2008).
- Grønlund, A. (2006). Fosfor – en framtidig knapphetsressurs. *Bioforsk FOKUS* 1.
- Haldorsen, S. (2008). *Intervju med Sylvi Haldorsen, Professor IPM, UMB med spesialkompetanse innen grunnvann, økologi og klimaendringer* (27.2.2008).
- Heeb, J., Jenssen, P. D., Gnanakan, K. & Conradin, K. (2006). *Ecosan curriculum*. CD prepared for the World Water Forum in Mexico March 2006.
- Hensel, G. R., Kähler, J. C. & Yri, A. W. (2008a). *Infiltrasjonsanlegg som renseløsning - mindre avløpsrensning (<50 pe)*. Vol. 2, Nr. 25:2007, Bioforsk Jord og miljø. [avlop.no](http://avlop.no) (lest 25.4.2008).
- Hensel, G. R., Kähler, J. C. & Yri, A. W. (2008b). *Temaark renseløsninger*, Bioforsk Jord og miljø. [avlop.no](http://avlop.no) (lest 25.4.2008).
- Jenssen P. D., Kirkerud, J., Vråle, L. & Jonasson, S. (2000). *Forprosjekt – Vann og avløp Bunnefjordsområdet. Alternativ 3 – lokale løsninger*. Norges Landbrukshøgskole: Institutt for tekniske fag. *ITF Rapport 108/2000*.
- Jenssen, P. D., Mæhlum, T., Wetlesen, M., Kraft, Kähler, J. C., Roseth & Vethe. (1992). *Økologisk renseteknologi: oversikt over ulike naturbaserte behandlingsmetoder for kommunalt avløpsvann*. Oslo, Statens forurensningstilsyn.
- Jenssen, P. D. (2005). *Kretsøpsteknologi - systemer for resirkulering av ressurser i avløp og avfall. Delprosjekt 1: systemer for kildesortering av avløp - Statusrapport for Norden*. IMT – rapport 10/2005, Institutt for kjemi- og bioteknologifag, Institutt for plante og miljøvitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB.
- Jenssen, P. D., Jonasson, S. & Heistad. (2006). *Naturbasert rensing av avløpsvann – en kunnskapssammenstilling med hovedvekt på norske erfaringer*. VA-Forsk rapport 20, Svenskt Vatten AB.
- Johansen & Sander (2006). *Forvaltningsplanen for Barentshavet – hva er nytt? Ottar 2:2006*, Forvaltningen av Barentshavet.
- Johansson, M. & Johansson, B. (2002). *Småskalig avlopsrensing: en eksempelsamling*, Formas – Forskningsrådet for miljø, areella næringer og samhøllsbyggande.
- Jönsson, H. (2001). *Urine separation - Swedish experiences*. *EcoEng Newsletter, International Ecological Engineering Society* (2001).
- Karathanasis, A. D., Potter, C. L. & Coyne, M. S. (2003). *Vegetation Effects on Fecal Bacteria, BOD, and Suspended Solid Removal in Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater*. *Ecological Engineering* 20.
- Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, Å & Sæbø., A. 2005. Influence of Chemically and Biologically Stabilized Sludge on Plant-available Phosphorus in Soil. *Ecological Engineering* 25 (2005).
- Lafferty, W. M. (2002). *Realizing Rio in Norway*, ProSus - Program for Research and Documentation for a Sustainable Society, Oslo 2002.
- Langergraber, G. & Muellegger, E. (2004). *Ecological Sanitation—a way to solve global sanitation problems*. *Environment International* 31.
- Lygre, K. (2008). *Karbonfesten er over*. *Klassekampen* 19.3.2008.
- McCutcheon, S. C. & Schnoor, J. L. (2003). *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. Environmental Science and Technology: A Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons.
- Michalsen, B. (2008). *Intervju med Bjørn Michaelsen, driftsoperatør ved Frogn kommunale renseanlegg* (6.3.2008).
- Miljøbyen Gamle Oslo, Studentsamskipnaden i Oslo (SIO) & Boligbyggelaget USBL. (1995). *Økologiboliger på Klosterenga: Program- og utredningsfase*. 24 s.
- Miljøverndepartementet (2009). *Den europeiske landskapskonvensjonen – Hverdagslandskapet*. [regjeringen.no](http://regjeringen.no) (lest 20.1.2010).
- Miljøverndepartementet. (2006). *Forvaltningsplan Barentshavet, regjeringen.no* (lest 19.3.2007).
- Miljøverndepartementet. (2008). *Landskapskonvensjonen*. CETS No. 176, [regjeringen.no](http://regjeringen.no) (lest 29.2.2008).
- Miljøverndepartementet. *St.meld. nr. 34 (2006-2007)*. *Norsk klimapolitikk* avsnitt 3.1, [regjeringen.no](http://regjeringen.no) (lest 18.1.2010).
- Monsen, P. K. (2008). *Intervju med Per Kr. Monsen, Sivilarkitekt MNLA, GASA arkitekter AS* (22.2.2008).
- Mossop, E. (2006). *Landscapes of Infrastructure*; Waldheim, C. (red.) *The Landscape Urbanism Reader*. Princeton Architectural Press, New York 2006.
- Mæhlum, T. (1991). *Økologisk avløpsrensing: bruk av konstruerte våtmarker til rensing av avløpsvann i Norge*. Norges Landbrukshøgskole.
- Nedland, K. T. (2005). *Statusrapport for bruk av avløpsvann – endringer siden år 2000*. *Orio Rapport nr. 05-029*.
- Nesodden kommune (2006). [nesodden.kommune.no](http://nesodden.kommune.no) (lest 21.7.2006).
- NFK & NORVAR. (2001). *VA/Miljø-blad nr. 49: Våtmarksfiltre*, Norsk kommunalteknisk forening (NFK), Norsk VA-verkforening (NORVAR).
- NFK & NORVAR. (2003). *VA/Miljø-blad nr. 59: Lukkede infiltrasjonsanlegg*, Norsk kommunalteknisk forening (NFK), Norsk VA-verkforening (NORVAR).
- Nilsen, T. (2008). *Intervju med Tor Nilsen, arbeidsleder ved Gamle Oslo Servicesentral* (7.3.2008).
- Nordeide, T. (2008). *Forespørsel til Terje Nordeide, konsulent i Oslo kommune Vann- og avløpsetaten, vedrørende Klosterenga Økologiboliger* (11.2.2008).
- Nyhuus, S. (1991). *Økologiske arealprinsipper i Oslos byggesone*, Oslo byplankontor.
- Nyhuus, S. (2000). *Miljøvennlige byer har også grønne områder*. I: Fiskaa, H. & Skjeggedal, T. (red.) *Planlegging og bærekraftig utvikling*. Tapir Akademisk Forlag.
- Paruch, A., Krogstad T. & Jenssen, P. D. (2005). *Reuse of wetland filter media – content of heavy metal and indicator organisms*. *Wastewater treatment in wetlands - Theoretical and Practical Aspects*, Starbieni, Polen.
- Pernholm, S. (2008). *Forespørsel til Stina Pernholm, VegTech AB, vedrørende skjøtsel av konstruert våtmark* (10.3.2008).
- Pocock, C. (2007). *The Carbon Landscape*. *TOPOS* 61:2007 (Urban Space).
- Reed, S. C. (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment - A Technology Assessment*. *United States Environmental Protection Agency*, 832-R-93-008.
- Rosemarin, A. (2005). *Sustainable sanitation and water in small urban centres*. *Water Science & Technology* 51 (8): 109-118.
- Rosenborg, P. (2008). *Intervju med Per Rosenborg, fagleder ved Teknisk avdeling i Åmot kommune* (12.3.2008).
- SABIMA (2006). *Våtmarksområder*. [sabima.no](http://sabima.no) online database (lest 15.2.2008).
- Skrindo, A. B. (2008). *Intervju med Astrid Brekke Skrindo, restaureringsøkonom og forsker ved Institutt for plante- og miljøvitenskap (IPM, UMB)* (28.2.2008).
- Skøien, S. (1990). *Jordkultur*, Landbruksforlaget AS 1990.
- Statens forurensningstilsyn (2007). *Klimagasser*. *Miljøstatus i Norge* (lest 1.4.2008).
- Stiftelsen Vidaråsen Landsby. (2001). [camphill.no/vidaraasen](http://camphill.no/vidaraasen), Stiftelsen Vidaråsen Landsby (lest 3.1.2008).
- Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R. A. & Moormann, H. (2003). *Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment*. *Biotechnology Advances* 22.
- Sørensen, R. (2008). *Veiledning om geologien i Rådyrveien 20* (personlig kommunikasjon 3.6.2008).
- Sæbø, A., forskningsleder Bioforsk Vest Særheim & Sørensen, E. T. MNLA. *Diskusjon om grøntsektorbegreper* (personlig kommunikasjon 3.3.2010).
- Thompson, I. H. (2000). *Ecology, community, and delight: sources of values in landscape architecture*, Spon London 2000.
- USBL (2000). *Klosterenga Økologiboliger*, USBL Oslo 2000.
- Vagstein, A. M. & Horgen, T. (2000). *Kvalitativ stadanalyse Sykkylven*. *NIBR Rapport 2000:19*.

Vann- og avløpsetaten. (2000). Hovedplan for avløp og vannmiljø i Oslo for perioden 2000-2015. I: Nordeide, T. (red.), Oslo kommune Vann- og avløpsetaten.

Viken, R. (2008). *Intervju med Roar Viken, utviklingsjef USBL* (11.2.2008).

Ødegaard, H. (2008, 27.3.2008). *VA-utfordringer i verdens storbyer*. Vann for livet - sanitærløsninger for bedre helse og miljø Oslo. Teknisk-naturvitenskapelig forening (TEKNA).

Østeraas, T. & Robertsen, K. (1995). Rena Rensepark. Forprosjekt, Åmot kommune.

Åmot kommune (2008). Åmot kommune, [amot.kommune.no](http://amot.kommune.no) (lest 6.2.2008).

## APPENDIKS

**Tabell 1 – Momenter for vurdering og sammenlikning av system**  
 Økologisk renseteknolog, s. 10 (Jenssen et al. 1992)

Anleggstype			
Beskrivelse av teknologi og komponenter med prinsippskisse.			
Momenter	Omfatter	Kommentarer	Gradering
Økologi	Resirkulering	Næringsstoffer, organisk materiale (evt. høsting)	stor-middels-små muligheter
	Ressursforbruk	Energi, materialer, kjemikalier etc.	stor-middels-liten
	Kildebehandling	Mulighet for lokal behandling	gode-middels-små muligheter
	Landskap	Kvaliteter, naturlig integrering i landskap	gode-middels-dårlig mulighet
Renseevne	Fosfor (P), Nitrogen (N), organisk stoff	Hovedinntrykk basert på internasjonale og evt. norske erfaringer for P, N, organisk stoff	+ < 40 % (P, N) ++ 40-80 % (organisk stoff)
	Suspenderte stoff		+++ > 80 %
	Patogene org.	Termostabile coli-bakterier/100ml	++ 100-1000 +++ < 100
Areal	Arealbehov		stort: > 50 m <sup>2</sup> /PE middels: 1-5 m <sup>2</sup> /PE lite: < 1 m <sup>2</sup> /PE
	Jord/løsmasser	Korngradering, sortering, mektighet, hydrologi	store-middels-små krav
	Konfliktgrupper	Grunnvann, sand/grustak, rekreasjon, naturvern	få-noen-mange (eksempler)
Klima	Temperaturforhold	Innvirkning av perioder/områder med lave temp.	liten-middels-stor betydning
Bygging	Dimensjonering	Land hvor det er utarbeidet dimensjoneringsnormer	eksempel (evt. ukjent per i dag)
	Byggeanvisning	Land hvor det er utarbeidet byggeanvisninger	eksempel (evt. ukjent per i dag)
Driftsforhold	Driftstilsyn	Bemannning, evt. høstingsbehov	ekstensivt-intensivt
	Driftsstabilitet	Variasjoner i renseevne	ustabilt-stabilt/robuste system
	Forbehandling	F.eks. slamavskiller, siling, lufting	behov og aktuelle metoder
	Slamproduksjon	Slamprod. utenom evt. slamavskiller	ingen-liten-middels-stor
Økonomi	Etablering	Kostnad ved etablering (sammenliknet med tradisjonelle metoder)	lave-middels-høye kostnader
	Drift-vedlikehold	Drifts- og vedlikeholdskostnader	lav-middels-høy
	Kostnadseffektivitet		
Bruk	Bruksområder	Etter størrelse og typer avløp	få-noen-mange (eksempler)
	Fleksibilitet	Kombinasjoner med tradisjonell- og økologisk rense-teknologi (eks. forbehandling, etterpøling)	liten-stor (eksempler)
	Driftslesong		bare sommer-hele året
Levetid	Hydraulisk	Forventet levetid (før evt. gjentetting)	kort-lang (evt. min. antall år)
	Rensemessig	Forventet levetid (før evt. utskifting av jordmediet)	kort-lang (evt. min. antall år)
Erfaringer	Utbredelse	Norge, Skandinavia, andre land	liten-middels-stor (land)
	Karakter	Driftserfaringer, generelle inntrykk	gode-variable-dårlige (ukjent)
Samlet vurdering		Aktuell som et fremtidig system	økende-avtagende utbredelse
Utvikling FoU behov		Forhold som er av betydning dersom det er ønskelig å utrede, ta i bruk, eller videreutvikle rensemetoder for norske forhold	
Litteratur Engelsk terminologi		Henvisning til artikler og rapporter	

**Tabell 2 – Momenter for vurdering og sammenlikning av system**  
 Småskalig avloppsrening: en eksempelsamling, s. 28 (Johansson & Johansson 2002)

Anleggstype	
Beskrivelse av teknologi og komponenter med prinsippskisse.	
Kriterier	Kommentar
Vurdering av systemløsning	Generelt om systemets oppbygning; funksjon; renseevne; resirkulering av næringsstoffer; fordeler/ulempes.
Muligheter for oppskalering	Kort om hvordan systemet kan utvides/tilpasses flere husholdninger; generell vurdering/anbefaling; henvisning til forskrift; fordeler/ulempes.
Stabilitet	Systemets stabilitet/robusthet med fokus på: <ul style="list-style-type: none"> <li>• anleggets holdbarhet</li> <li>• brukervennlighet; eventuelle tilpasningsbehov</li> <li>• kompetansekrav for installatør og bruker</li> <li>• etter kontroll; serviceavtaler</li> <li>• erfaringer</li> </ul>
Utstørsbehov	Bestanddelene: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ekstrautstyr innendørs</li> <li>• oppsamlingstank; slamavskiller; filter; urinsortering o.a.</li> <li>• fordelingsutstyr; belastning/dimensjonering</li> <li>• prøvetakingsbrønn</li> </ul>
Smitteforebyggende tiltak	Anleggets reduksjon av smittebærere; risiko for direkte/indirekte smitte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• smittefare i anleggsperiode</li> <li>• smittefare i håndteringskjeden</li> <li>• spesielt kritiske faktorer</li> <li>• renseevne for bakterier</li> </ul>
Miløhensyn relatert til utslipp	Anleggets reduksjon av forfor (P), nitrogen (N), organisk materiale: <ul style="list-style-type: none"> <li>• utslipp til vann: P, N, biologisk oksygenforbruk (BOF)</li> <li>• utslipp til luft: amoniakk; lystgassbindinger</li> </ul>
Ressurshusholdning	Muligheter for resirkulering av næringsstoffer/i hvilken form dette er mulig; forbruk av fellingskjemikalier; filtermateriale o.a.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• gjenbruk av næringsstoffer: P, N</li> <li>• energi</li> <li>• vannforbruk</li> <li>• arealbehov inne/utendørs</li> </ul>
Anleggstekniske forutsetninger og dimensjonering	Krav til dimensjonering: <ul style="list-style-type: none"> <li>• innendørs i hus, leilighet</li> <li>• ledninger</li> <li>• slamavskiller; toalett; oppsamlingstank</li> <li>• infiltrasjonsegenskaper; arealbehov per husholdning; hydrauliske egenskaper</li> <li>• avstand til grunnvann o.a.</li> <li>• henvisning til forskrifter</li> </ul>
Kostnadsberegning	Grovt overslag på investerings/drifskostnader Kjemikalier; serviceavtaler Annet

**Tabell 3 – Valgfrie momenter ecosan-prosjekt**

Data Sheet for EcoSan Projects, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ 2008)

Criteria	Comment
<b>1. General data</b>	Type of project: rural/urban upgrading, individual/community based sanitation, new constructed area, type of reuse etc. Project period: planning (mm/yyyy); construction (mm/yyyy); operation (mm/yyyy) Project scale: number of inhabitants covered/involved, total investment, etc. Address: project location Planning institution: name of institution only Executing institution: name of institution only Supporting agency: name of institution only
<b>2. Objective</b>	Description of the general and specific objective of the sustainable sanitation project or project component. Supplied by illustrations such as technical drawings and photos.
<b>3. Location/ conditions</b>	Description of the location and its general conditions, with emphasis on conditions relevant to the implementation of the sustainable sanitation project and its intended reuse options, such as: <ul style="list-style-type: none"> <li>• climate/geographical conditions</li> <li>• population density</li> <li>• type of settlement</li> <li>• general water situation</li> <li>• economic situation</li> <li>• agricultural aspects, type of soil</li> <li>• institutional and legal framework</li> <li>• socio-cultural conditions</li> </ul>
<b>4. Technologies applied</b>	Description of applied technologies and implemented infrastructure (quantitative and qualitative) with special emphasize on collection and treatment facilities, application requirements, transportation distance, justification of technologies (why technologies have been chosen). Resilience and robustness of the system regarding climate change, water scarcity, energy.
<b>5. Type of utilisation/ reuse</b>	Description of the type of reuse applied in the project and organisational scheme for the collection-treatment-reuse chain: <ul style="list-style-type: none"> <li>• supply/demand of nutrients</li> <li>• application of sanitary resources</li> <li>• frequency of application</li> <li>• scale of impact</li> <li>• crops planted/plant requirements</li> <li>• area under cultivation</li> <li>• characterisation of the users</li> <li>• possible nutritional/diet effects</li> </ul>
<b>6. Further project components</b>	Specific focal points within the project, e.g. research on social and economic issues, aspects of reuse, up-scaling, institutions or others.
<b>7. Project history</b>	Starting point and milestones of the project, specific hindering/favouring aspects.
<b>8 Costs/ economic benefits</b>	Quantitative and qualitative description of investment, operation/maintenance costs/subsidies involved. Description of the financing scheme for the collection-treatment-reuse chain.
<b>9. Operation/ maintenance</b>	Organisation of operation and maintenance, transport infrastructure etc.
<b>10. Design information /technical spec.</b>	Design information that has been used in planning for the project (basic parameters, assumptions, applied design methods, plans/schemes). Technical specifications such as methods of construction, materials used etc.
<b>11. Practical experience, challenges, lessons learned</b>	Detailed description of experiences (acceptance of technologies, reuse by the implicated stakeholders, technical aspects, scale of impact on the stakeholders involved etc). Analysis of occurred problems, challenges, constraints/ recommendations for future activities.
<b>12. Sustainability of the system</b>	Qualitative assessment regarding sustainability aspects of the system related to: <ul style="list-style-type: none"> <li>• health</li> <li>• environment/natural resources</li> <li>• technology/operation</li> <li>• finance/economics</li> <li>• socio-culture/infrastructure</li> </ul>
<b>13. Available documents/ references</b>	Short description and comment of each document, document language, download/order address: project documents (feasibility studies, design reports, fact sheets, bidding documents, operation manuals, training material, publications, maps etc.), documents relevant to water, agriculture, health sector in the project area.
<b>14. Institutions/ organisations etc.</b>	Contact details of all parties involved in the project, including description of role/responsibility within the project.

**Tabell 4 – Momenter Naturbasert – temaark 1-4**

Elin T. Sørensen (2008)

**1 Bakgrunn**

- Brukere (antall; kontekst).
- Beliggenhet og omgivelse (lokalitet; befolkningstetthet; adresse).
- Illustrasjon/figur: Prinsippskisse inkl. korte fakta.

**2 Rensemetsode**

- Metode (renseevne).
- Systembeskrivelse.
- Driftssikkerhet og stabilitet (hydraulisk/rensemessig levetid; fleksibilitet/robusthet; kombinasjonsmuligheter; oppskaleringsmuligheter).
- Byggetekniske detaljer (dimensjon; arealbehov per husholdning; hydrauliske egenskaper; utstyr/materialbruk: kompetansekrav for installatør/bruker; tilpasningsbehov).
- Regelverk.
- Ressurshåndtering og kretsløp (kjemikalier; resirkulering/ omfordeling av næringsstoffer/slam; høsting av biomasse; organisering leverandør/mottaker; tilbakeføring grunnvann/ vassdrag; resipientens tilstand; utslipp til vann/luft; energiforbruk; energigjenvinning; vannforbruk/resirkulering).
- Helsemessige aspekter (smittefare i håndteringskjeden; oppnådd reduksjon av uønskede bakterier; lukt).
- Illustrasjon/figur/tabell: prinsippskisser/anleggets renseevne.

**3 Planprosess**

- Historie (bakgrunn for valg av teknologi; prosjektets mål).
- Planlegging (planleggingsfase/utførelse/aktører; anleggssperiode/ferdigstilling/drift; drivkrefter; eksterne støttespillere).
- Utfordringer (spesielle erfaringer/hindringer).
- Holdningsendrende innsats/brukermedvirkning (planlegging/ gjennomføring/skjøtsel).
- Illustrasjon/figur: bilder fra stedet/av anlegget.

**4 Naturgrunnlag og landskap**

- Klima (klimasone; temperaturforhold/nedbør; driftssesong).
- Hydrogeologiske forhold (løsmasser; kornfordeling; mektighet; jorddybde; permeabilitet; lokal vannsituasjon).
- Økologisk respons og landskapsøkologi (oppfølging/skjøtsel; relasjon og innvirkning på tilstøtende omgivelser; skjøtelsesplan).
- Landskapsbilde (arealbruk; visuelle kvaliteter; estetisk funksjon; terrengtilpasning; blågrønne struktur; potensielle konflikter).
- Illustrasjon/figur/tabell: endringer gjennom årtidene; situasjon før/etter anlegget kom; panter i anlegget.

**5 Økonomi**

- Tilsyn og forvaltning (bemanning; prøvetaking; driftsstabilitet; variasjoner i renseevne; serviceavtaler).
- Kostnader (kostnader etablering/drift/vedlikehold; kostnadseffektivitet; miljøregnskap).

**6 Samlet vurdering**

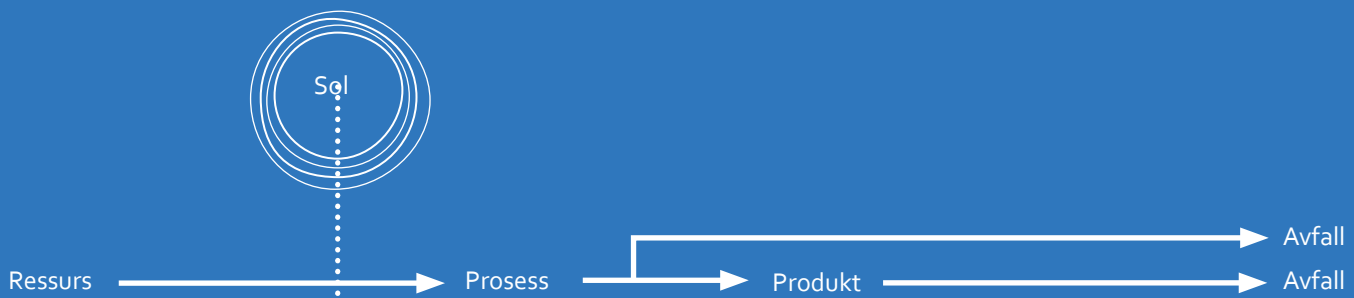
- Oppsummering (fordeler/ulemp; forbedringspotensial; FoU behov).

**7 Annet**

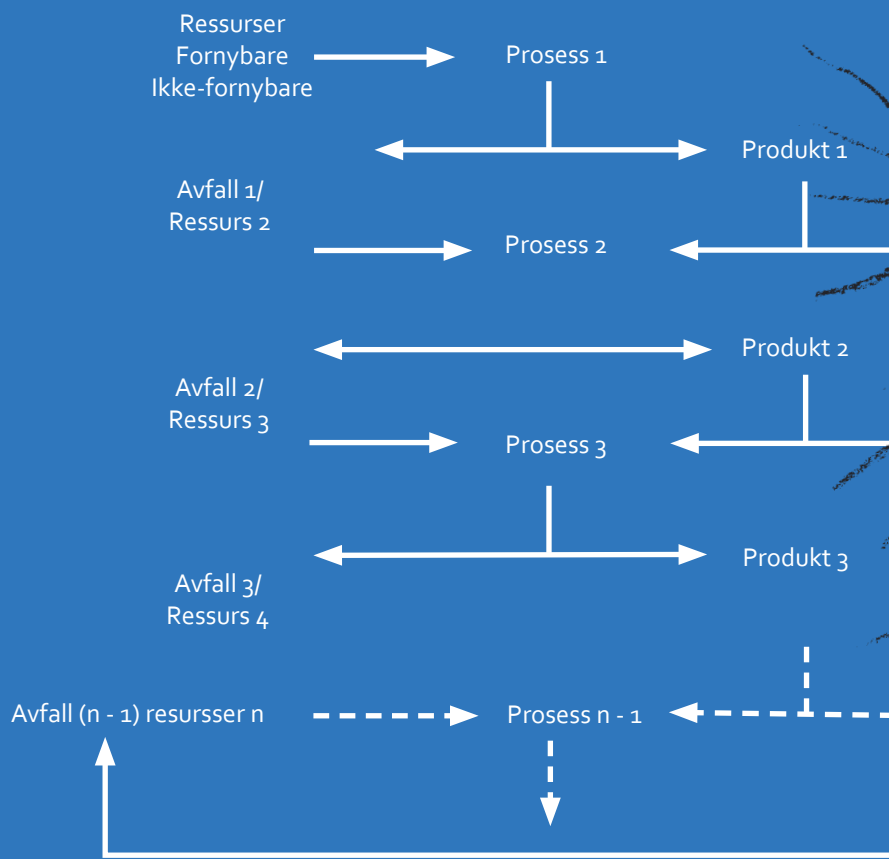
- Eventuelle utmerkelse, priser, hederlig omtale.
- Referanseprosjekt (kort beskrivelse; hjemmeside o.a.).

**Kilder**

- Kilder refereres fortløpende.



*Menneskenes lineære økonomi*



*Naturens kretsløpsøkonomi*

Elin T. Sørensen 2010 basert på Yeang, K. (2008). *Ecomimicry: designing based on the ecosystem analogy. Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. Wiley-Academy. John Wiley & Sons, Inc.