



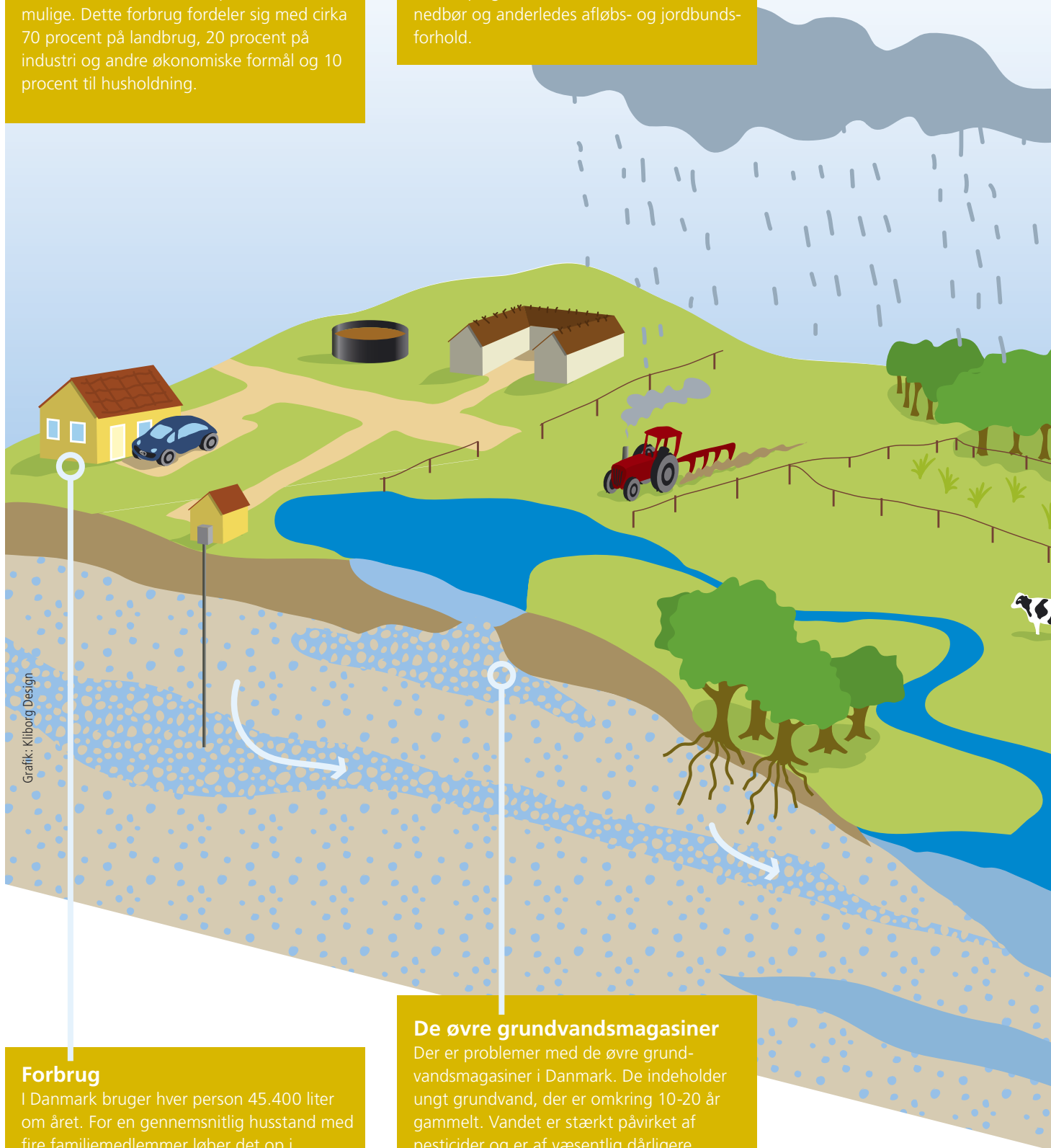
VAND

Nedbør og vand

Af de 110.000 km³ nedbør, der globalt set falder på landjorden hvert år, omsættes kun 45.000 km³ til afstrømning og grundvand, og heraf er kun 13.500 km³ økonomisk tilgængeligt. Vi bruger i dag cirka 4.000 km³, hvilket faktisk er tæt på det realistisk mulige. Dette forbrug fordeler sig med cirka 70 procent på landbrug, 20 procent på industri og andre økonomiske formål og 10 procent til husholdning.

Sjællands vandbalance

Af en årlig nedbør på Sjælland i år 2001 på 780 millimeter fordampede 530 millimeter vand, mens de sidste 250 millimeter løb til søer og vandløb og sivede mod grundvandet. Vandbalancen i Jylland ser helt anderledes ud på grund af blandt andet mere nedbør og anderledes afløbs- og jordbundsforhold.



Grafik: Kliborg Design

Forbrug

I Danmark bruger hver person 45.400 liter om året. For en gennemsnitlig husstand med fire familiemedlemmer løber det op i 181.600 liter om året.

De øvre grundvandsmagasiner

Der er problemer med de øvre grundvandsmagasiner i Danmark. De indeholder ungt grundvand, der er omkring 10-20 år gammelt. Vandet er stærkt påvirket af pesticider og er af væsentlig dårligere kvalitet end det dybe grundvand.



Vandrammedirektivet

EU's vandrammedirektiv får fremover en stor betydning for forvaltningen af vandressourcerne. Direktivet skal beskytte vandløb, søer, kystvande og grundvandet. Dette skal ske ved at fremme bæredygtig vandanvendelse og ved at reducere udledning af skadelige stoffer til vandmiljøet - herunder grundvandet. Direktivet er bindende for EU's medlemslande, og miljømålene skal være gennemført 2015. Den praktiske gennemførelse af vandrammedirektivet skal ske inden for såkaldte vanddistrikter, hvis geografiske afgrænsning skal baseres på vandløbsoplande, og altså uafhængigt af eksisterende administrative inddelinger. Læs mere på miljøstyrelsens hjemmeside www.mst.dk

INDHOLD

- 3 Vandet i det åbne land**
Af Hans Christian Bruun Hansen
- 6 Vand og planter**
Af Jan K. Schjørring og Thomas Jahn
- 8 Grundvandets kvalitet**
Af Carsten Suhr Jacobsen
- 9 Naturlige giftstoffer i grundvandet**
Af Lars Holm Rasmussen
- 9 Tungmetaller i jord og grundvand**
Af Peter E. Holm
- 10 Vand og udvikling – den globale udfordring**
Af Torkil Jønch-Clausen
- 13 Vand kan bære på sygdomme**
Af Anders Dalsgaard
- 13 Kunstvanding af afgrøder**
Af Jens Raunsø Jensen
- 14 Daisy beregner nitratudvaskningen**
Af Søren Hansen
- 16 Blød pizza og tørre rosiner**
Af Jens Risbo
- 18 Vand – en genbrugsvare**
Af Jakob Magid
- 20 Landskabet over vores drikkevand**
Af Henrik Vejre
- 22 Skove og rent drikkevand**
Af Karin Hansen og Lars Vesterdal
- 22 Hvad koster et rent vandmiljø?**
Af Brian Jacobsen
- 23 Referencer**
- 24 Fakta om naturressourcer på KVL**

UDGIVER

Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole (KVL), marts 2005
Bülowsvej 17, 1870 Frederiksberg C
Telefon 3528 2042

Oplag: 6.000

REDAKTION

Sanne Lund ansvh. redaktør, Gudrun Lau Bjerno,
Lykke Thostrup og Charlotte Aabo

DISTRIBUTION

Informationssekretariatet, KVL

DESIGN OG PRODUKTION

Kliborg Design, Adtomic og Richard Larsen Grafisk

FORSIDEFOTO

Jakob Helbig

ISBN 87-87047-49-7

Vandet i det åbne land

Det er svært at forestille sig, at der ikke skulle være vand nok her på Den Blå Planet, når mere end 70 procent af overfladen er dækket af vand. Men kun 2,5 procent er ferskvand – resten er saltvand i oceanerne.

*Professor Hans Christian Bruun Hansen,
Institut for Grundvidenskab, KVL*

Vand er forudsætning for liv: Mad, varme, tømmer, tøj, industriel udvikling, økonomisk og social stabilitet. Vandets værdi ligger dybt i alle samfund og religioner, og rige civilisationer er opstået, hvor der har været let adgang til vand.

Mennesker har gennem historien arbejdet intenst med at få adgang til vand og fordele det, og det har ført til imponerende vandindvindings- og fordelingsystemer som for eksempel *qanats* (underjordiske grundvandskanaler) i Nordafrika og Mellemøsten og de romerske *akvædukter*.

Vand – også i fremtiden?

Friskvandsressourcerne er under pres som følge af den stigende verdensbefolkning, samfundsøkonomiernes vækst og nedgang i vandressourcernes kvalitet. Der er i dag en langt stærkere konkurrence mellem landbrug, industri og bybefolkning om adgangen til og retten over vandet. De beslutninger, vi skal tage de næste årtier vedrørende kvalitet, udnyttelse og fordeling af vandressourcer, vil sætte rammerne for fremtidens fødevarerproduktion, landskabsforvaltning og byudvikling.

Det virtuelle vand

Landbruget er storforbruger af vand, idet cirka 70 procent af den samlede vandindvinding i verden – det "blå" vand – bliver brugt til kunstvanding af afgrøder. Størstedelen af verdens afgrøder klarer sig dog med regnvandet – det "grønne" vand.

For at producere ét kilo hvede skal der bruges mellem 1000 - 3000 liter vand, mens det koster 10 – 20 gange så meget vand at producere ét kilo oksekød. Det "virtuelle" vandindhold i de forskellige fødevarer er altså meget forskelligt. Skulle prisen på fødevarer afspejle, hvor meget vand der er brugt i fremstillingen, skulle en bøf være mange gange dyrere end et rugbrød.

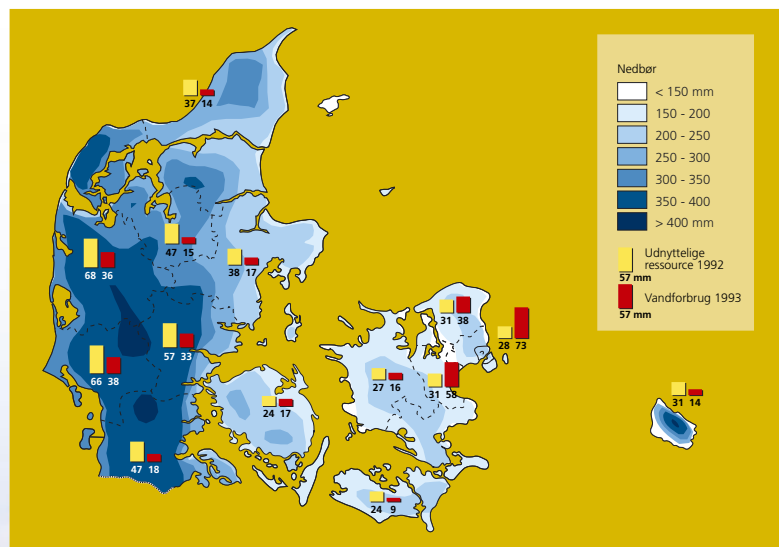
På årsbasis bruger et menneske op til 1000 m³ vand, når det virtuelle vand i fødevarer indregnes. Den mængde vand,

vi bruger til bad, rengøring og så videre, er ringe i forhold til den mængde vand, der er blevet brugt til fremstilling af det, vi spiser. Så hvis vi skal økonomisere med vandet, så er der meget vand at spare blot gennem valget af det, vi spiser, gennem forbedring af planters vandudnyttelse og ved forbedring af kunstvandingsanlæg.

Skævt vandkort

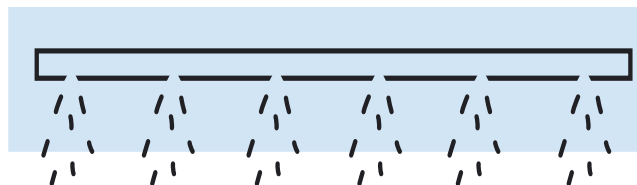
Vanddannelsen og vandforbruget i verden er uens fordelt.

Selv inden for Danmarks grænser er der en skæv fordeling, idet nettonedbøren og grundvandsdannelsen er langt større i Vestdanmark end i Østdanmark, mens vandforbruget omvendt er langt højere i øst end vest. Det betyder, at Sjælland for eksempel bruger betydeligt mere vand, end der dannes. Overudnyttelsen af grundvandsressourcen fører til sænkning af grundvandsspejlet og giver problemer som for eksempel frigivelse af tungmetaller i grundvandsmagasinerne og sommerudtørring af vandløb, enge og vådområder, som fødes af grundvandet.

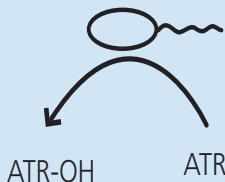


Gennem jordfilteret

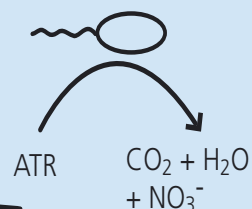
Jordbrug og vandkvalitet hænger uløseligt sammen. Vandcyklen (se indersiden af omslaget) illustrerer, at meget af nedbøren kommer i kontakt med jord, hvorfra det kan strømme af på overfladen eller via dræn til søer og vandløb, sive ned til grundvandet eller fordampe til atmosfæren fra jordoverfladen og fra planter. Så at sige alt det grundvand, der dannes



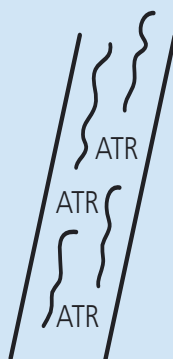
Nedbrydning



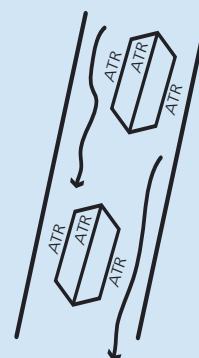
Mineralisering



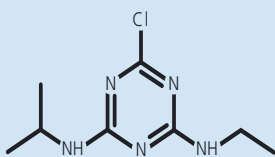
Advektiv transport



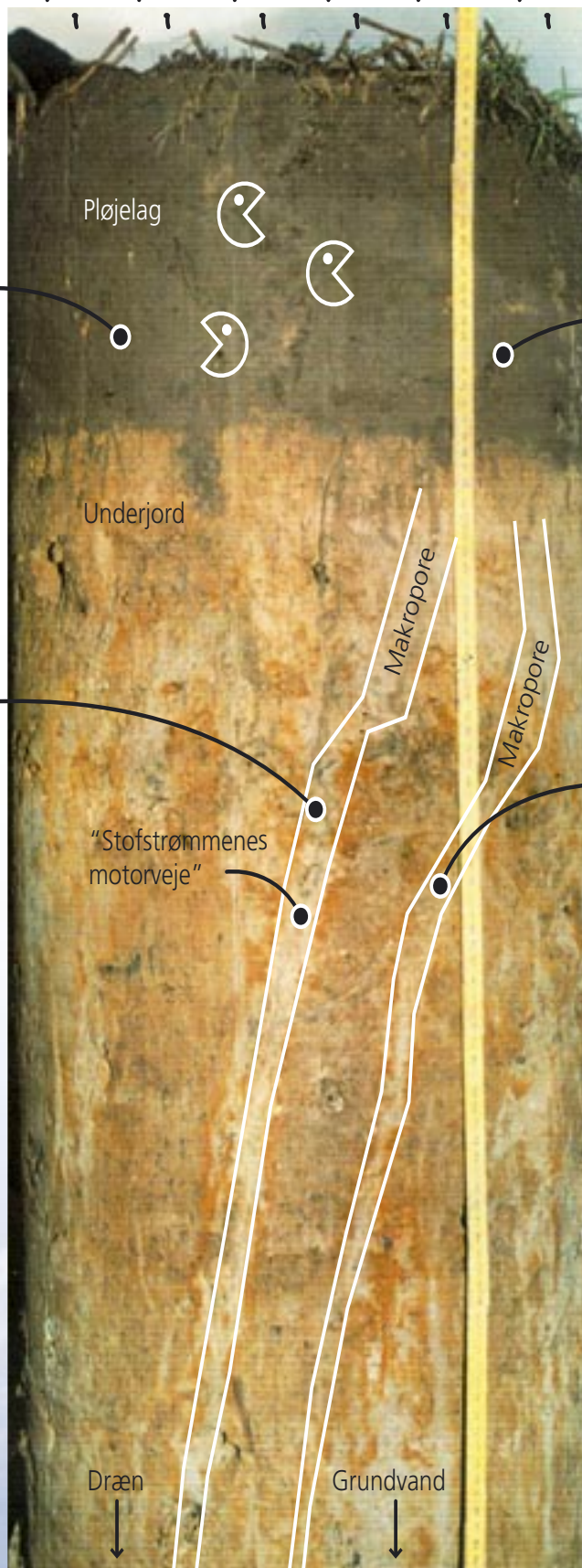
Partikel-transport



Atrazin = ATR



Jordens effekt som filter er illustreret i denne jordsøjle, hvor pesticidet atrazin følges ned gennem jordlagene mod grundvandet. I det øverste jordlag er den biologiske aktivitet størst. Her nedbrydes pesticider på to måder: dels kan stoffet mineraliseres og derved helt forsvinde, og dels kan det nedbrydes på en sådan måde, at det bliver til nedbrydningsprodukter, der også kan ende i grundvandet. De store makroporer tillader pesticidet at suse uhindret nedad, enten i opløst tilstand (advektiv transport) eller vedhæftet en partikel. Grafik: Kliborg Design



i Danmark, har været en tur gennem "jordfilteret".
 I et land som Danmark, der har et intensivt landbrug og en stor husdyrtæthed, har det først og fremmest ført til høje belastninger af vandressourcen med nitrat og pesticider.

Fra jord til vand
 Jordens effektivitet som filter kommer også i spil for en række andre stoffer. Det gælder for eksempel phosphor, tungmetaller som kobber og zink, veterinære lægemidler og hormoner fra husdyrbesætninger, fremmedstoffer i spildevandsslam og naturlige giftstoffer fra for eksempel planter og svampe.

Erkendelsen af, at vandkvalitet er koblet til jordbunden og arealanvendelsen, forventes at føre til større fokus på jordressourcen, og et EU-jorddramedirektiv er på vej for at sikre, at jorden kan fungere optimalt – også som biologisk aktivt filter.

Milliarder til rent drikkevand

For at nedbringe belastningen har der i Danmark siden midten af 80'erne været gennemført mange initiativer til at begrænse forureningen af vandmiljøet. Samlet er der tale om investeringer på mange milliarder kroner. Mens den samlede udledning af nitrat fra landbruget er blevet omtrent halveret, og pesticidforbruget reduceret, er der fortsat ikke de store effekter at spore, hvis man måler i grundvandet. I grundvandsovervågningen er der fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter fra dem i 27 procent af alle brønde; i 10 procent af brøndene er koncentrationen over grænseværdien på 0,1 mikrogram pr. liter. For nitrat er der i det iltholdige grundvand set et gennemsnitligt fald fra cirka 50 milligram pr. liter i 1998 til nu 40 milligram pr. liter. Der er dog fortsat over 25 procent af disse borer, der har koncentrationer over grænseværdien på 50 milligram pr. liter.

Vandets hukommelse

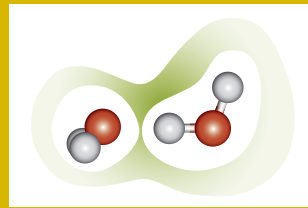
Grundvand opfattes ofte som mere "beskyttet" mod forurening end overfladevand, da grundvandet er dækket af jord og sedimenter. Problemet er imidlertid, at den tid et vandmolekyle opholder sig i grundvandet er 1000 – 100.000 gange længere end for overfladevand, det vil sige, at vandet fornyes langsomt. Sammenholdt med at forureningsstoffer typisk nedbrydes meget langsommere i grundvand end i jorden, hvor de kommer fra, betyder det, at hvis grundvandet først er forurenet, så er det forurenet i lang tid. Den måde, vi udnytter og dyrker jorden på i dag, får altså betydning for kvaliteten af grundvandet for vore børne- og oldebørn.

Fremtidens vandressourcer

Der er mange ukendte størrelser i spillet omkring fremtidens vandressourcer. Hvor meget vil vi betale for rent vand gennem forhøjede vandafgifter eller dyrere fødevarer, hvis landbruget skal reducere husdyrtætheden, bruge færre gødningsstoffer og pesticider og tage arealer ud af produktionen til for eksempel skov og naturarealer?

Der ligger en stor udfordring i at udvikle ny teknologi, som kan kombinere effektiv fødevarerproduktion med produktion og sikring af rent vand. Opgaverne vil for eksempel handle om udvikling af planter med forbedret næringsstofudnyttelse, mindre pesticidbehov og lavere vandforbrug, systemer til recirkulation af vand, udvikling af miljøvenlige pesticider og nye jordbehandlingsteknikker.

Den globale opvarmnings indflydelse på vandkredsløbet er stadig uklar men får betydning for teknologiudviklingen. Et varmere og mere fugtigt klima medfører større behov for gødskning og pesticidanvendelse, hvilket kan øge udvaskningen, og større nedbør og nedbørssintensitet vil gribe ind i hele det hydrologiske kredsløb.



Fakta om H₂O

Vand - det mest almindelige stof og den eneste naturligt forekommende uorganiske væske på jorden - har en række unikke egenskaber.

Sammenligner vi vand med lignende simple stoffer, burde vand være på gasform ved stuetemperatur. Både den temperatur vandet fryser og koger ved er meget højere, end man skulle tro ved sammenligning med lignende stoffer, og det store spænd mellem fryse- og kogepunkt gør, at vand forbliver flydende de fleste steder på kloden som det eneste sted i universet.

Vand har en stor varmekapacitet – der skal bruges store energimængder for at varme vand op og ikke mindst for at bringe det på gasform. Derfor beskytter vandet i kroppen mod store temperatursvingninger, og oceanerne fungerer som store varmetanke, der regulerer klodens klima, som for eksempel Golfstrømmen.

Is flyder ovenpå flydende vand! Hos andre stoffer er den faste form ellers næsten altid den tungeste. Is på søer, floder og have beskytter det dybereliggende vand mod yderligere frysning, så der fortsat kan eksistere liv.

Vand hænger sammen – man siger det har en høj overfladespænding - og det gør, at der kan dannes dråber og bølger, at vandet kan trækkes op af jorden og op i planter gennem fine kapillarer.

Vand er et usædvanligt effektivt opløsningsmiddel for stoffer overalt i naturen, og det hæfter til biologiske makromolekyler som for eksempel proteiner og DNA og bestemmer dermed deres struktur og funktion.

Vandets særlige egenskaber skyldes vandmolekylets opbygning, nemlig at vandmolekylet grundet vinklen mellem O-H bindingerne på 104,5 grader har en "positiv" og "negativ" ladet ende – det vil sige at molekylet er polariseret, og der dannes derfor svage hydrogenbindinger mellem de enkelte vandmolekyler.

AFra landbrug til vandbrug

Et vigtigt instrument i den kommende vandforvaltning er EU's vanddramedirektiv. Direktivets ambitiøse mål er en koordineret forvaltning af det samlede vandmiljø og vandkredsløb – altså hvor alle dele af kredsløbet tænkes ind fra starten. Direktivets formål er at beskytte og forbedre tilstanden af vandressourcerne og de tilknyttede økosystemer, blandt andet gennem reduktion af udledningen af forurenende stoffer og gennem en mere bæredygtig anvendelse. Der fastsættes for de forskellige vandmiljøer en række konkrete miljømål, som skal være opfyldt inden for 15 år. I praksis betyder miljømålenes opfyldelse, at vi skal kunne sætte tal på koblingen mellem arealanvendelse og vandmiljøets tilstand – igen en spændende men meget krævende opgave.

Vand og planter

Uden vand, intet liv – heller ikke planteliv. Vand er langt den overvejende del af levende planteceller, typisk 80-95 procent i grønne blade.

Professor Jan K. Schjørring og lektor Thomas Jahn, Institut for Jordbrugsvidenskab, KVL

Planter optager hele tiden vand, men det er kun få procent af det, som bliver i planten. Samtidig med vandoptagelsen i rødderne sker der nemlig en vandfordampning fra bladene. På en varm sommerdag vil et blad i løbet af en time kunne udveksle hele sit vandindhold med atmosfæren. I løbet af en hel livscyklus kan en vandmængde svarende til 100 gange en kornplantes egen vægt fordampe gennem bladoverfladen og forsvinde ud i atmosfæren.

Fordampning via spalteåbninger

Det store vandspild skyldes, at planter må holde bladenes spalteåbninger åbne for at optage kuldioxid fra atmosfæren, så fotosyntesen kan forløbe. Vand er nødvendigt for at sikre den saftspænding, som holder spalteåbningerne åbne. Men samtidigt skaber vandet betingelserne for sin egen fordampning gennem de åbne spalteåbninger.

Udover at sikre bladenes kuldioxidudveksling med atmosfæren er den stadige vandoptagelse i rødderne en vigtig forudsætning for at transportere uorganiske næringsstoffer fra jorden til rødderne, optage disse og videresende dem til bladene.

1000 ton vand til et ton hvede

Af alle de ressourcer, en plante behøver for at vokse, er vand den mængdemæssigt mest dominerende og ofte den mest begrænsende for vækst og produktivitet. Vandforbruget til planteproduktion er enormt. Der bruges ofte mere end 1000 ton vand for hver ton moden hvede og tre gange så meget til hvert ton ris. Den nedre grænse er anslået til cirka 500 ton vand pr. ton hvedekerne. Men så forudsætter det også, at alle andre vækstfaktorer er til stede i optimal kombination, det vil sige intet ukrudt, ingen sygdomme og ingen mangel på næringsstoffer.

Hvordan forbedres planters vandudnyttelse?

Man kan opnå en bedre vandudnyttelse - mere "crop per drop"- ved at udvikle mere effektive afgrøder, vandingsteknikker og vandingsstrategier. I mange udviklingslande er

vandingen af landbrugsarealer sjældent særlig effektiv, tre fjerdedele af vandet fordamper, og noget forsvinder ved spild. Her vil de hurtigste og bedste resultater kunne opnås ved en bedre vandingspraksis.

Det er dog værd at understrege, at det globalt set kun er 20 procent af landbrugsarealerne, som vandes, og at disse arealer kun bidrager med 40 procent af den samlede planteproduktion. Resten af verdens forsyning med vegetabiliske produkter er afhængig af den naturlige nedbør. Derfor vil selv en lille forbedring i udbyttet på disse arealer, ved brug af planter med bedre vandudnyttelse, have stor betydning og samtidigt gavne verdens fattigste bønder, som lever af at dyrke de mest tørkeudsatte marginalområder.

Planter og vandkvalitet

Planter er ikke blot vandforbrugere men kan også være med til at producere rent vand. Planter optager nemlig nogle af de stoffer, som ellers ville kunne sive ned gennem jorden og forurene grund- og overfladevand. Det drejer sig om nitrat, fosfor, tungmetaller, pesticider og andre. Den positive effekt af kvælstoffangende efterafgrøder på reduktion af nitratudvaskningen er velkendt. Græsarealer kan have en så effektiv kvælstoffjernelse, at det vand der siver ud i bunden af rodzonen er tæt på at være nitratfrit.

Delvis udtørring mindsker fordampning

I Danmark er vandbesparende vanding under udvikling med gode resultater. En metode, som er specielt egnet til række- dyrkede afgrøder, er baseret på delvis udtørring af rodsystemet i den ene halvdel af rodzonen, medens jorden på den anden side af rækken vandes. Rødderne i den uvandede del af rodzonen snydes derved til at danne kemiske signalstoffer, som transporteres til bladene og bevirker en vis lukning af spalteåbningerne, som er stor nok til at reducere vandfordampningen, uden at fotosyntesen hæmmes tilsvarende. Ved næste vanding skiftes side, så rødderne konstant holdes i live.

Denne delvise rodzoneudtørring forventes at kunne nedsætte vandforbruget med mindst 25 procent uden væsentlig udbyttenedgang.

"Vandet er en væske, der er i stand til at løfte sig som tynde saftstrømme i planter, det er allestedsnærværende, skaber regn og godt vejr, opløser og transporterer uophørligt tusindvis af stoffer, som bundfældes eller fordeles efter forgodtbefindende, og dette lige så vel i en celle som på kontinentet"
- citat fra Yann Arthus-Bertrands bog *Jorden set fra himlen.*



Nye planter med forbedret vandhusholdning

Planters vandudnyttelse afhænger af en lang række egenskaber med indflydelse på for eksempel transpiration, fotosyntese, frøsætning, næringsstofudnyttelse, rodudvikling og sygdomsresistens. Vandudnyttelsen kontrolleres derfor af mange gener, som tilsammen bevirker, at nogle sorter producerer mere biomasse pr. enhed optaget vand end andre. På trods af at der inden for de seneste 15 år er sket en revolution inden for genetisk kortlægning, hvor flere og flere gener bliver kendt, og deres position på den enkelte plantearts kromosomer fastlagt, så vil der endnu gå lang tid, før det samlede genetiske grundlag for effektiv vandudnyttelse og tørketolerance er beskrevet. Det manglende kendskab til de relevante gener medfører, at anvendelse af genetisk modifikation endnu er på et meget indledende stadium sammenlignet med den forædling, der udnytter den naturlige genetiske variation.

Tunge og lette isotoper

For at udnytte den naturlige genetiske variation i forædlingsprogrammer er det nødvendigt først at kunne udvælge de sorter, som har den bedste vandudnyttelse. Et vigtigt redskab til denne udvælgelse baserer sig på, at sorter med en effektiv vandudnyttelse er bedre til at optage flere typer naturligt forekommende kulstof-isotoper end mindre effektive sorter.

99 procent af atmosfærens kuldioxid indeholder den lette C-12 isotop, medens kun en procent bærer den tunge C-13 isotop. De plantesorter, der har en god vandudnyttelse, er også bedre til at optage kuldioxid med den tunge isotop. Deres fotosyntese er effektiv, og de er derfor åbne for at bruge den næring, der er til rådighed. Den viden kan man nemt udnytte i krydsningsprogrammer, hvor man kan måle på sorterens isotopsammensætning.

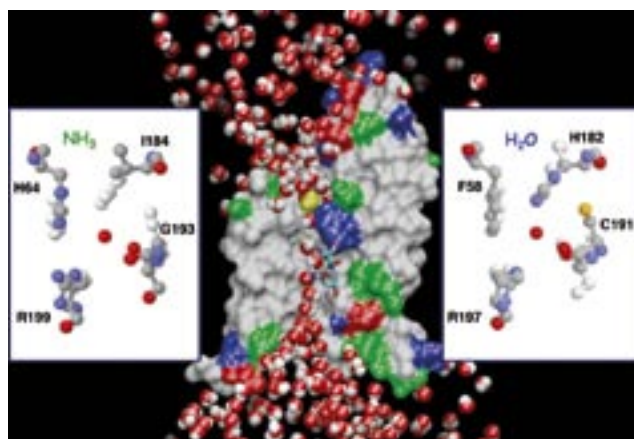
Markører for god vandudnyttelse

Forædlingsprogrammer kan effektiviseres ved brug af nye genetiske teknikker som for eksempel molekylære markører. Flere end 50 markører for effektiv vandudnyttelse er allerede blevet kortlagt i for eksempel hvede, baseret på genetisk analyse af krydsningslinier fra sorter, der varierer meget fra hinanden med hensyn til modstandsdygtighed overfor vandmangel. Variationen blandt de molekylære markører i nye forædlerlinjer kan bruges til at teste, om en bestemt plante bærer de ønskede egenskaber, så de planter, som har den bedste genetik, kan udvælges allerede som helt små.

Måltrettet forædling med udnyttelse af kulstofisotopsignaturer og molekylære markører har inden for en række vigtige afgrøder som hvede, ris, byg, bønne og kartoffel resulteret i nye sorter med mere end 10 procent bedre vandudnyttelse under tørre vækstforhold end traditionelle sorter.

Aquaporiner gode til transport

Selvom mulighederne for at anvende genetisk modifikation til forbedring af planters vandudnyttelse endnu er begrænsede, så sker der hurtige fremskridt. En milepæl var opdagelsen i 1992 af de såkaldte aquaporiner, der er specielle proteiner involveret i transport af vand gennem biologiske cellemembraner. Aquaporinerne udgør en superfamilie af transportproteiner, og planters genom indeholder omkring 35 gener, der koder for aquaporiner. Den nyeste forskning på området, som blandt andet gennemføres på KVL, viser, at nogle af disse aquaporiner er specialdesignede til ikke blot at transportere vand men også luftarter som kuldioxid og ammoniak. Det åbner nye perspektiver for effektivisering af vand- og kuldioxidudvekslingen og for samspillet mellem vand- og kvælstofudnyttelse i planter.



Figuren viser strukturen af en vandkanal (aquaporin) der transporterer en række vandmolekyler (H₂O; triplet bestående af 2 røde og 1 hvid kugle) gennem en cellemembran. Et enkelt vandmolekyle, markeret med gul farve i det midterste billede, befinder sig lige ved indgangen til kanalen, hvor hvert enkelt molekyle bliver tjekket for størrelse og ladningsmæssige egenskaber. Aquaporiner som kun kan transportere vand har aminosyrerne fenylalanin, histidin, cystein og arginin i poreåbningen (hhv. F58, H182, C191, og R197 på lille figur til højre). Andre aquaporiner har i stedet histidin, isoleucin, glycin og arginin i de samme positioner, hvilket medfører en lidt større poreåbning, således at også ammoniak (NH₃) kan transporteres igennem (lille figur til venstre).



Grundvandets kvalitet

Grundvand betyder meget i Danmark, for i modsætning til andre lande er dansk drikkevand helt overvejende baseret på grundvand, der kun kræver en let rensning. De fleste danskere kender smagen af klor i postevand fra rejser i udlandet, og tilsætning af klor er ofte nødvendigt, når drikkevandet er rensset overfladevand. Der er derfor god grund til at passe på vores grundvand.

*Seniorforsker Carsten Suhr Jacobsen,
GEUS, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse*

Grundvandet dannes kun langsomt. Det grundvand, vi nu indvinder, er i gennemsnit 30 år gammelt. Hvis forskningen i morgen finder ud af, at et bestemt pesticid er særligt farligt, kan vi holde op med at sprøjte vores æbler for at slippe for det, men det tager meget længere tid at få stoffet væk fra vores grundvand.

Vandet dannes om vinteren

Vores grundvand dannes især i efterårs- og vintermånederne, når planterne ikke fordamper så meget af nedbøren. Ud fra et beskyttelsessynspunkt ville det derfor – og også fordi nedbrydningen af fremmedstoffer forløber hurtigst om sommeren – være bedst, hvis man kun sprøjtede markerne om sommeren.

Grundvandsdannelsen under lerede marker med mange sprækker og regnormsgange sker i større ryk end under sandede marker. Det er derfor svært at fastlægge vandets strømning – og den mulige forurening – på lerede jorde end på sandede.

Nye fund fører til forbud

Grundvandets kvalitet kontrolleres i et samarbejde mellem vandværker og myndigheder. Pesticider eller nedbrydningsprodukter, som vi får mistanke til, kontrolleres i dag i varslingsystemet for pesticider. For eksempel har vi for nylig fundet for høje udvaskninger af et nedbrydningsprodukt fra pesticidet metribuzin. Disse resultater førte i første omgang til, at producenten trak stoffet tilbage fra markedet, og der er efterfølgende lavet en dansk forbudssag mod stoffet.

Mistanke til stoffer eller nedbrydningsprodukter må bygge på en nøje tilrettelagt forskning. Pesticider, der godkendes på baggrund af fælles europæiske forsøg, kan nemlig i nogle

tilfælde under danske forhold danne nedbrydningsprodukter, der kan være et problem for grundvandets kvalitet.

Gylle giver problemer

Der er meget fokus på pesticider og nitrat i grundvandet, men fra tid til anden skal vi kigge i krystalkuglen og forsøge at forudse, om der er nogle andre forureninger, som er overset i vurderingen af grundvandets kvalitet.

Fornyelig har forskningsrådsprojektet SOUND påvist, at østrogen udvaskes i høje koncentrationer fra gylle gennem en leret jord fra Sjællands Odde. Koncentrationerne, der udvaskes gennem disse kolonner, var mange gange den koncentration af et østrogen, der kan påvirke ferskvandsdyr. Dette resultat, som set i bakspejlet måske ikke er specielt overraskende, fordi østrogenet kun bindes dårligt til jorden, er måske en vigtig viden i relation til en fremtidig sikring af grundvandets kvalitet.

Tilsvarende er der andre bestanddele i gylle, der kan være problemer med. I tyske, irske og canadiske undersøgelser har man fundet udvaskning af patogene mikroorganismer efter udbringning af gylle, og det har ført til epidemier i befolkningen. Dette er et område hvor man stort set ingen viden har om forholdene i Danmark.

Mikroorganismer nedbryder pesticider

Pesticider nedbrydes ved hjælp af enzymer, der fremstilles af jordens mikroorganismer. Ved at analysere gener fra mikroorganismer, der kan producere de ønskede enzymer, kan vi få viden om sammensætningen af mikroorganismene i jorden og hermed forudse, om der vil ske en nedbrydning af forureningsstofferne.

Den globale viden om nedbrydningsgener i mikroorganismer stiger kraftigt i disse år, men vi ved stadigvæk ikke, om de gener, vi kender, er repræsentative for de gener, der reelt udtrykkes i jorden. Vi arbejder derfor med at isolere nye mikroorganismer, der kan nedbryde pesticider for herigennem at bidrage med at opbygge en global database. Tilsvarende foretager vi test af de allerede fundne gensekvenser for at undersøge om gener, der er fundet i mikroorganismer isoleret fra andre dele af verden blandt andet Australien, USA og Japan, nu også svarer til de gener, vi finder i danske jorde.

Naturlige giftstoffer i grundvandet

Af adjunkt Lars Holm Rasmussen,
Institut for Grundvidenskab, KVL



Bælte af ørnebregner. Foto: Lars Holm Rasmussen

Som led i samspillet med naturen udskiller mange planter giftstoffer. Det kan for eksempel være bioherbicer, som virker spirehæmmende, eller bioinsekticider, som er decideret giftige og beskytter planten mod angreb fra insekter. Giftstofferne kan være akut virkende eller kræftfremkaldende, og et hidtil upåagtet aspekt af disse giftstoffer er deres indvirkning på miljøet – først og fremmest på grundvandskvaliteten.

Et naturligt giftstof kan true grundvandet, hvis det ikke

nedbrydes eller bindes til jorden og i øvrigt forekommer i uacceptable koncentrationer.

Ørnebregnen er en udbredt plante i Danmark, hvor den mange steder vokser i tætte bestande. Den indeholder giftstoffet ptaquilosid, der virker kræftfremkaldende på både dyr og mennesker. Ptaquilosid findes i alle dele af planten, og belastningen kan komme op på 1.000 milligram pr. m², der kan udvaskes med nedbør. Stoffet er fundet både i jord og i drænvand, og i to tilfælde er ptaquilosid desuden målt i brønde, hvilket til dels skyldes, at der voksende ørnebregner ved brøndene, men også at stoffet er mobilt og ikke bindes til jord. Næsten al udvasket ptaquilosid vil være at finde i jordvandet, hvorfra det kan transporteres ned til grundvandslaget. Her vil det stort set ikke nedbrydes, da ptaquilosid kun kan nedbrydes hurtigt ved pH-værdier under 4 og højere end 7.5.

Ptaquilosid er fundet enkelte gange i ganske høje koncentrationer set i forhold til tilsvarende grænseværdier for pesticider. For eksempel er der fundet 45 mikrogram ptaquilosid pr. liter i en brønd, og grænseværdien for et pesticid vil typisk være 0,1 mikrogram pr. liter. Det skal dog nævnes, at der kun er lavet mindre end ti drikkevandsundersøgelser indtil nu.

Eksemplet med ptaquilosid viser, at plantegifte kan true vores grundvand. Derfor skal biopesticider inden for både økologisk, konventionelt, biomedicinsk og genmodificeret jordbrug bruges med omtanke. Dyrkning af afgrøder med forhøjet indhold af bioaktive stoffer, der skal anvendes inden for den biomedicinske sektor eller blot skal beskytte planten mod angreb, kan resultere i utilsigtede miljøpåvirkninger som for eksempel grundvandsforurening.

Tungmetaller kan fanges af planter

Lektor Peter E. Holm, Institut for Grundvidenskab, KVL

Tungmetaller som bly, cadmium, kobber, kviksølv, nikkel og zink er en vigtig og miljømæssigt betydningsfuld gruppe af grundstoffer. Tungmetaller findes naturligt i lave koncentrationer i både jord og grundvand, hvor de er blevet nedarvet og frigivet fra jordens mineraler eller blevet tilført fra atmosfæren med nedbør.

Metallernes giftighed i organismer skyldes, at de med stærke bindingsegenskaber kan erstatte andre metaller i enzymer og dermed forhindre enzymets normale funktion i organismen.

Udvinding og brug af råstoffer øger tilførslen af tungmetaller i vandets kredsløb gennem jorden og kan derfor have negative effekter på de organismer og planter, som lever i jorden, og de dyr og mennesker som indtager vand og planter. I jordbrug er det særligt tilførslen af affaldsstoffer, husdyrgødning som gylle og mineralgød-

ning, som kan bidrage til at forøge indholdet af tungmetaller i jorden.

Tungmetaller som cadmium binder kraftigt til jorden, og derfor er de svære at fjerne igen. Men en af de teknikker, som har været afprøvet, er fyto Remediering, det vil sige optag i særligt opsamlende planter og herefter afbrænding eller genudvinding af metallerne fra plantematerialet. Det er en teknik, som stadig er under udvikling, men som muligvis kan benyttes for blandt andet cadmium, der er et af tungmetallerne, som er mest tilgængeligt for planter.

Nogle af udfordringerne inden for fyto Remediering er, at planter med disse særlige akkumulerende egenskaber oftest er små og vokser langsomt og dermed også oprenser langsomt. Det kan overvindes ved at benytte genmodificerede planter, så egenskaberne for at akkumulere flyttes over i større og hurtigere voksende planter, hvilket selvfølgelig kræver nærmere undersøgelser, før planterne kan udsættes i jordmiljøet.

Vand og udvikling –



Foto: KVL

Vand er liv! Mennesker, planter og dyr er helt afhængige af vand. Når vi udforsker verdensrummet, er vand det første, vi leder efter i jagten på muligt liv andre steder i universet.

Udviklingsdirektør Torkil Jønych-Clausen, DHI - Institut for Vand & Miljø

Vand giver liv, men vand tager også liv, som vi senest så ved katastrofen i Asien. For meget vand skabte kaos, samtidig med at manglen på rent drikkevand blev den helt store udfordring umiddelbart efter katastrofen.

Vand er en naturressource på godt og ondt, og den måde, vi forvalter denne ressource på, er helt afgørende for vores samfundsudvikling.

Vand- eller forvaltningskrise

I debatten om miljø og udvikling tales der ofte om en vandkrise. Det siger næsten sig selv, at med en stærkt stigende befolkning – nu seks milliarder, stigende til måske 10-11 milliarder – og med en i princippet uændret mængde vand til rådighed på kloden, så stiger presset på de globale vandressourcer dagligt. Mens jordens befolkning blev tredoblet i det tyvende århundrede, blev vores vandforbrug i samme periode mere end seksdoblet. En halv milliard mennesker lever i dag i lande med begyndende vandmangel, og dette tal forventes at stige til tre milliarder i 2025, hvis vi fortsætter som hidtil. Denne udvikling begynder at vise sig i form af stigende konflikter over vand, både inden for landegrænser og landene imellem, som vi ser i Mellemøsten.

Verden har vand no, og vil fortsætte med at have det. Men hvis vi ikke bliver bedre til at fordele og forvalte dette vand, vil konflikterne tage til. Vi kan ikke forhindre oversvømmelser og tørker, men vi kan blive meget bedre til at håndtere dem og reducere de menneskelige og økonomiske tab. Der er således snarere tale om en forvaltningskrise end en vandkrise.

Vandet er bundet i is

Vores klode – den blå planet – er dækket af vand, hvoraf kun 2,5 procent er ferskvand, og mindre end en procent heraf er til at få fat i. Resten er utilgængeligt, enten fordi det ligger som is og sne eller er så dybt nede, at vi ikke kan nå det. Det kan også være økonomisk utilgængeligt, fordi det enten skal transporteres meget langt eller skal opmagasineres i store mængder. Det sidste gælder i monsunklimaerne i

troperne, hvor hele nedbøren falder i løbet af to-tre måneder.

Vand er en lokal ressource

Vand er en lokal ressource, og derfor er de globale tal i figur 1 og 2 blot illustrative. Men de taler deres klare sprog: Vandet er der, men det er ulige fordelt. Det er derfor et spørgsmål om forvaltning og omkostninger, om denne ulighed kan håndteres.

Ud over mængden af vand kommer naturligvis også spørgsmålet om vandkvaliteten. I mange udviklingslande udledes stort set alt spildevand urensset, mens vi i Europa slås med forurening fra industrien og fra landbrugets gødnings- og plantebeskyttelsesmidler. Den forringede vandkvalitet gør dele af vandressourcerne ubrugelige uden bekostelig rensning.

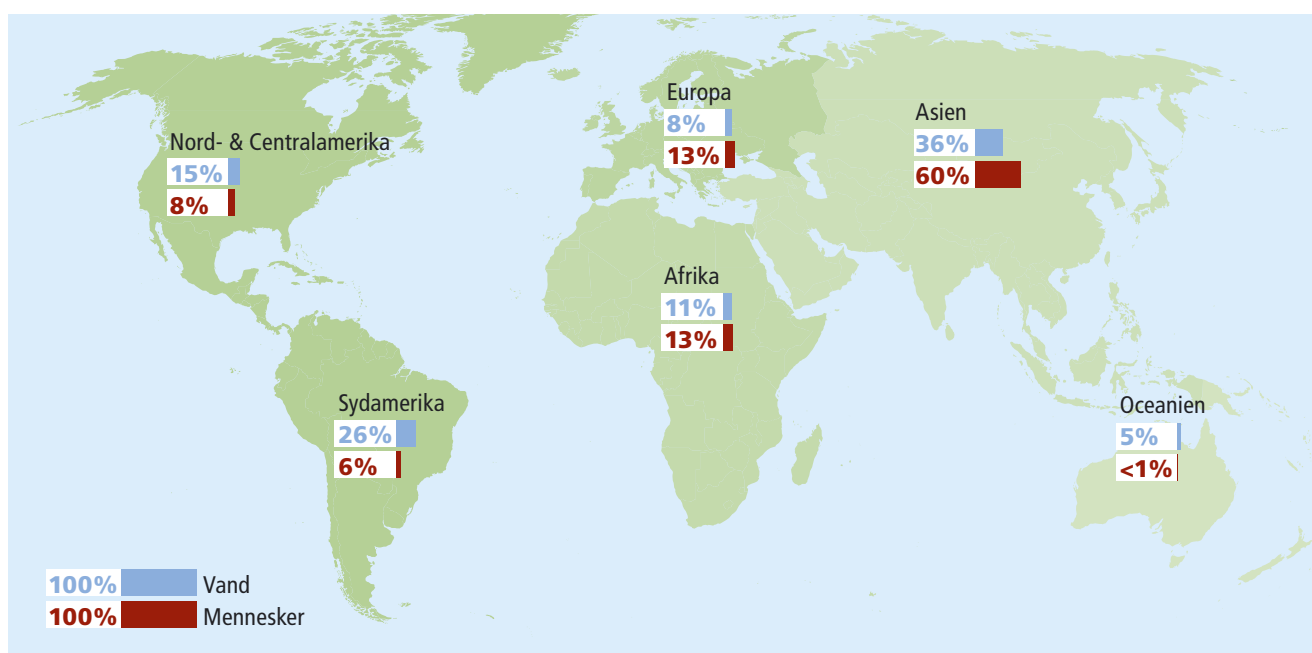
Problemer og udfordringer

Også klimaændringer og den globale opvarmning kan få betydning for vandressourcerne. Klimaændringer kan betyde øget eller reduceret nedbør og fordampning. Forskerne skønner, at visse dele af kloden bliver vådere og andre mere tørre, samtidig med at forekomsten af oversvømmelser og tørker vil stige.

Bag tal og grafer om jordens vand ligger spørgsmålet om, hvad det hele betyder for menneskeheden og vores miljø.

Et godt udgangspunkt er ministererklæringen fra det globale vandtopmøde i Haag i 2000, der identificerede tre primære behov: Vand til basale menneskelige behov, vand til fødevarereproduktion og vand til bevarelse af vores økosystemer

den globale udfordring



Figur 1: Det globale overblik over verdens vandressourcer og befolkning understreger ulighederne mellem verdensdelene. Især Asien er under pres med kun 36 procent af verdens vandressourcer til mere end halvdelen af verdens befolkning. Grafik: Kliborg Design

Vores basale behov

Mere end 1,2 milliarder mennesker mangler rent drikkevand, og dobbelt så mange har ikke adgang til sanitære faciliteter. Som følge heraf dør over fem millioner mennesker, hovedsageligt børn, hvert år af vandrelaterede sygdomme - mest diarré. Men mindre end ti procent af det globale vandbrug er til husholdningsbrug, så det er mere et politisk og økonomisk problem end et egentligt spørgsmål om vandressourcer.

Fødevarer kræver mest vand

Her står vi over for et potentielt stort vandproblem! Mere end 70 procent af alt vandbrug går til fødevarerproduktion. For at brødføde verdens

stigende befolkning skønnes det, at fødevarerproduktionen skal øges 40 procent over de næste 25 år, hvilket vil kræve yderligere vanding af afgrøder, og dermed yderligere pres på vandressourcerne. Der bruges fra 1.000 til 20.000 ton vand til at producere et tons fødevarer, hvoraf kødproduktion er det, der bruger mest. Der er derfor et stort potentiale i vandbesparelser i landbruget, dels ved at øge effektiviteten i vandforbruget, og dels ved at lægge fødevarerproduktionen om, så de store vandforbrug lægges dér, hvor vandet er.

Økosystemer og kredsløb

Vores vandressourcer afhænger af, at det hydrologiske kredsløb fungerer.

Store indgreb i naturen kan få konsekvenser for vandets kvantitet og kvalitet, og for både mennesker, planter og dyr i vores økosystemer. Dårlig planlægning og forvaltning af vandressourcer har ført til store miljøkatastrofer, som for eksempel Aral-søens delvise forsvinden og udtørringen af den Gule Flod i Kina. Siden 1970 er 50 procent af alle ferskvandsarter forsvundet.

Konkurrence om vandet

Et stort problem i vandforvaltningen er, at vand indtil for ti-femten år siden stort set overalt er blevet taget for givet. En ressource – ligesom luften – der bare er der og kan bruges efter behov. Hver sektor – landbruget,

industrien, vandforsyningerne – har planlagt og forvaltet deres vandforbrug og vandafledning uafhængigt af hinanden, uden hensyn til, at den ens forbrug påvirker den andens både med hensyn til mængde og kvalitet. Når den vandmængde, der er til rådighed, ikke længere slår til, er det klart, at de forskellige brugere må tale sammen og finde løsninger på, hvorledes konkurrencen om vandet skal løses.

Topmøde skabte forståelse

Siden verdenstopmødet i om miljø og udvikling i Rio i 1992 er der gradvist opbygget en international forståelse for, at løsninger på disse problemer findes i en integreret vandressourceforvaltning. Det bærende princip er, at vand skal betragtes og forvaltes som en begrænset og sårbar ressource. Det skal ske på tværs af sektorer og interessegrupper, som alle skal inddrages i beslutningsprocesserne om fordeling

og forvaltning af vand til forskellige formål. Det kræver først og fremmest politisk vilje, der omsættes til love og handlingsplaner. Desuden skal der være institutioner på alle niveauer, som kan udmønte disse love i praksis, og disse institutioner skal have kapacitet, teknologi og forvaltningsredskaber til deres rådighed. Dette kan lyde banalt, men i de fleste udviklingslande er der lang vej igen!

På den globale dagsorden

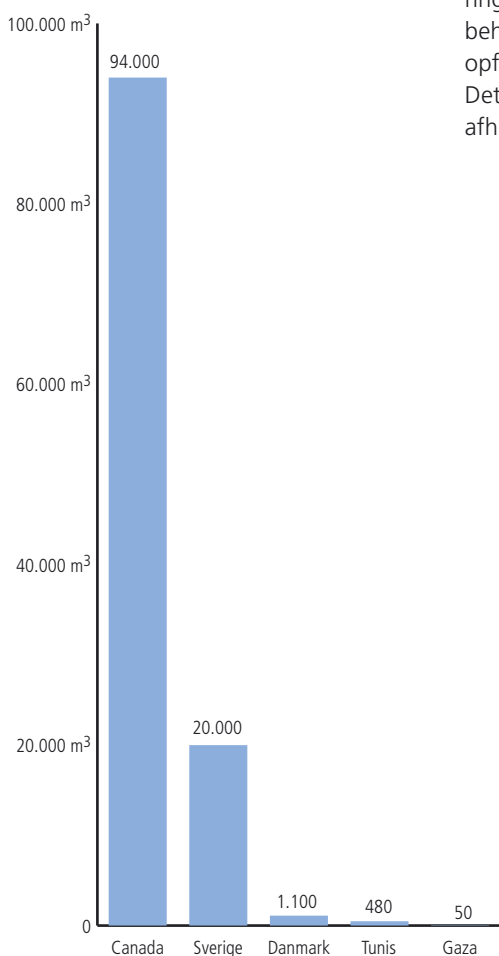
Siden Rio er det gået stærkt med at få vandressourcerne på den globale dagsorden. Såvel internationalt som lokalt i mange lande, er der gennemført omfattende vandreformer. En serie af konferencer, World Water Forum's, startede i Marrakech i Marokko i 1997, fortsatte i Haag i 2000 og fandt senest sted i Kyoto i 2003, hvor 24.000 personer - heraf cirka 100 ministre - deltog. World Water Fora er alle afsluttet med ministerkonferencer, hvor et meget stort antal lande er enedes om erklæringer, der på forskellig vis understreger behovet for bedre vandforvaltning og opfordrer til reformer og handling. Det næste World Water Forum bliver afholdt i Mexico i marts 2006.

Fra ord til handling

I Johannesburg i 2002 markeredes tiåret for Rio-topmødet med endnu et verdenstopmøde. I handlingsplanen herfra blev statscheferne enige om en målsætning, der udtrykker, at alle lande inden 2005 skal udarbejde planer og strategier for integreret vandressourceforvaltning.

Efter mødet i Johannesburg erklærede FN år 2003 for "ferskvandsår", og her i 2005 starter en ny vandekade 2005-2015 - water for life.

Vand har således aldrig haft større politisk bevågenhed end netop nu, men spørgsmålet er stadig, om dette så også omsættes til handling. Private investeringer i vandforsyning er faldende, og bistanden til verdens fattigste lande stiger ikke som lovet, så udsigterne til, at de store målsætninger virkelig nås, må siges at være dystre, medmindre de politiske signaler snart omsættes til handling.



Figur 2: Uligheden i fordelingen af verdens vand kan illustreres ved, hvor meget vand der er til rådighed pr. person i forskellige lande. Det globale gennemsnit er 7.000 m³ pr. person om året. Danmark er således teknisk set tæt på vandmangel, "water stress", hvor grænsen er 1000 m³ pr. person om året. Lande som Tunesien og Gaza lider af decideret vandmangel, "water scarcity", defineret ved 500 m³ pr. person om året.

Hvad gør Danmark?

Danmark har været meget aktiv på den internationale vandscene. Danmark bidrog stærkt til, at vand kom på dagsordenen i Rio, og dansk udviklingsbistand til vand beløber sig i dag til cirka 500 millioner kroner pr. år. De danske aktører på den internationale vandscene dannede i oktober 2002 foreningen Danish Water Forum, DWF. Formålet med DWF er at formidle viden om vand – og hvad der sker internationalt på vandområdet - til medlemmerne. Foreningen har i dag cirka 40 institutionelle medlemmer fra forskellige dele af den danske vandsektor: Ministerier, rådgivningsfirmaer, producenter, forskningsinstitutioner og vandværker med flere.

Vand kan bære på sygdomme

Lektor Anders Dalsgaard,
Institut for Veterinær Patobiologi, KVL

Verdenssundhedsorganisationen, WHO, skønner, at mere end halvdelen af alle dødsfald i udviklingslandene skyldes vandrelaterede sygdomme. En del af dødsfaldene skyldes fækkaltforurenede drikkevand, som er årsag til alvorlige vandbårne diarréepidemier med kolera, tyfus, og dysenteribakterier. En forbedret og sikker vandforsyning vil kunne forebygge en række af disse epidemier, hvorimod forebyggelse af sygdomsudbrud på familieniveau også kræver, at vandet opbevares sikkert uden risiko for forurening med afføring fra eksempelvis børn eller husdyr.

Men god drikkevandskvalitet alene er sjældent nok til at sikre en god sundhedsstatus. Vandet skal også være tilgængeligt i de nødvendige mængder,

til eksempelvis personlig hygiejne. Når dette ikke er tilfældet ses en række hygiejne-relaterede sygdomme som infektioner med lus, lopper og skab, men også øjesygdomme og diarré sygdomme.

Ved nogle vandbaserede sygdomme i udviklingslandene foregår en del af smitstoffernes livscyklus i vand. Afrikanske lande har store sundhedsproblemer med parasitsygdommen bilharziose, sneglefeber, som smitter mennesker under badning eller anden kontakt med ferskvand forurenede med menneskers urin og fækalier. Parasitten, som årligt inficerer mere end 200 millioner mennesker, vil efter en opformering i snegle kunne trænge gennem menneskers hud og medføre en række sygdomme, blandt andet såkaldt "blodpis", som skyldes infektion og blødninger i urinvejene.

Vand er også levested for en række myggearter, som kan bære flere alvorlige sygdomme, for eksempel gul feber, malaria og "dengue" feber. Dengue feber kan være en livstruende sygdom, som ikke kan behandles. Den er på fremmarch i en række udviklingslande, især i byområder i sydøstasien, hvor myggen lever i alt fra større vådområder til den smule vand, der kan være i underkøben til pottedplanter. Myggene overfører virus ved bid, typisk ved dagslys.

Forebyggelse og kontrol af vandrelaterede sygdomme er således langt fra gjort ved at sikre forsyning med drikkevand af god kvalitet. Det kræver derimod en bred og integreret indsats rækkende fra uddannelse i personlig hygiejne til myggekontrolprogrammer.

Kunstvanding af afgrøder

Lektor Jens Raunsø Jensen,
Institut for Jordbrugsvidenskab, KVL



Kunstvanding i Burkina Faso. Foto: Heine Pedersen, Scanpix

Kunstvanding har været en afgørende forudsætning for de seneste årtiers vækst i fødevarerproduktionen, især i Asien. Globalt set er landbruget langt den største forbruger af ferskvand, og det vandede areal udgør 20 procent af landbrugsarealet men bidrager med 40

procent af fødevarerproduktionen. FN's fødevarerorganisation FAO vurderer, at den relative betydning af kunstvanding vil være voksende, og at 70 procent af den forventede stigning i kornproduktionen vil komme fra kunstvandede områder.

Men kunstvanding står overfor en række udfordringer. I form af ressourcebegrænsninger, lave kornpriser og stigende omkostninger ved etablering af vandingssystemer. Mange vandingssystemer fungerer desuden dårligt med ringe vandfordeling, vandudnyttelse og økonomi og belaster ofte miljøet ved forsøling, forurening og minering, det vil sige overudnyttelse, af grundvand.

Kunstvanding er således under voksende pres for en mere effektiv vandudnyttelse - "more crop per drop" - ideelt i form af større produktion ved mindre vandforbrug. Og endelig udgør miljøkrav, der skal sikre økosystemfunktionerne, en stigende begræns-

ning. Landbruget må derfor tilpasse sig et lavere vandforbrug og vil også i stigende omfang være henvist til at udnytte marginalt vand, for eksempel spildevand og saltholdigt vand.

De nødvendige omstillinger forudsætter en betydelig forsknings- og udviklingsindsats på mange områder. Vandbesparende teknologier og afgrøder med større ydelse og stressolerance er under stadig udvikling. Men potentialet i disse teknologier kan ofte kun realiseres gennem integrerede udviklingsprojekter, der også styrker bondeorganisationer, rådgivningstjenester, infrastruktur, finansierings- og markedsforhold.

Effektiv udnyttelse af nedbør i det nedbørbetingede jordbrug via grundforbedring og optimale afgrødesystemer er også et indsatsområde med et meget stort potentiale for forbedret vandhusholdning, landbrugsproduktion og livsvilkår i fattige landområder.

Daisy beregner nitratudvask

Siden midten af 80'erne har der været fokus på landbrugets bidrag til forurening af vores vandmiljø med kvælstof. I 2003 udgav GEUS den seneste opgørelse af størrelsen af Danmarks ferskvandsressource, og her fremgik det, at denne næsten er halveret i forhold til den foregående opgørelse. En af årsagerne hertil var forurening af det øvre grundvand med nitrat.

Lektor Søren Hansen, Institut for Jordbrugsvidenskab, KVL

Hvis forureningen med kvælstof skal reduceres skal det ske ved kilden, og derfor er der stor interesse for at forstå og opgøre mængden af udvaskning fra markerne. Siden midten af 80'erne har Institut for Jordbrugsvidenskab arbejdet på en simuleringsmodel, Daisy, der kan beskrive denne udvaskning.

Det har betydning, når den enkelte landmand skal finde frem til den rette mængde gødskning, og når myndighederne skal vurdere områdets sårbarhed i forbindelse med arealplanlægning og grundvandssikring.

Kompliceret proces

Udvaskningsprocessen er en proces, hvor opløst stof, for eksempel nitrat, transporteres med vandet gennem jordens poresystem. At vandet transporteres – perkolerer – ned gennem jorden skyldes primært, at vandet påvirkes af tyngdekraften, men samtidig påvirkes vandet også af kapillære kræfter, der suger vand ind i små ikke-vandfyldte porer i jorden.

Vandstrømningen i jorden kan ikke beskrives i detaljer, da jordens poregeometri ikke kendes præcist. Derfor er det ganske vanskeligt at beskrive vandtransporten i jorden, og hertil kommer, at det opløste stof ofte interagerer med den omgivende jord. Visse stoffer, for eksempel de fleste pesticider, har en tendens til at blive adsorberet, det vil sige til at binde sig til jordpartiklernes overflader. Andre stoffer, for eksempel nitrat, kan omsættes af mikroorganismer eller blive optaget af planternes rødder. Så bag en modelmæssig beskrivelse af udvaskningsprocessen ligger der altså en hel del fysik, kemi og biologi.

Direkte målinger forstyrrer jorden

Hvis man påvirker jordens poresystem, påvirker man også de processer, der ligger til grund for udvaskningsprocessen, og derfor er det faktisk ikke muligt direkte at måle udvaskningen i et naturligt, uforstyrret system. Udvasning kan kun måles direkte i særlige installationer. De er kostbare, og omstændighederne, som målingerne foretages under, er meget forskellige fra de naturlige forhold i marken. Så under naturlige forhold kan udvaskningen kun vurderes ved en kombination af målinger/observationer og modelberegninger.

Jord, planter og atmosfære spiller sammen

Daisy er en matematisk model, der kan simulere og integrere processer i jord, planter og atmosfære. Ud fra målte klimavariabler og data for dyrkningspraksis, samt kendte parametre for henholdsvis jord og afgrøde, kan modellen blandt andet beregne planteproduktionens størrelse samt vandbalance og kvælstofbalance for den enkelte mark. Modellen kan altså simulere, hvordan forskellige dyrkningssystemer og forskellige dyrkningspraksis påvirker planteproduktion såvel som ressourceudnyttelse og miljøbelastning, herunder udvaskning af kvælstof og pesticider fra rodzonen. Det vil sige, at modellen simulerer koblingen mellem produktion og miljøbelastning.

Daisy kan dække en hel region

Ved hjælp af et GIS-værktøj, udviklet på DHI – Institut for Vand & Miljø, kan anvendelsen af Daisy udbredes til at dække store arealer som for eksempel Sjælland. Daisy-modellen har derfor et stort anvendelsespotentiale dels som videnskabeligt analyseværktøj og dels som administrativt planlægningsværktøj på forskellige niveauer.

I den store skala har Daisy da også været anvendt i forbindelse med evaluering af diverse vandmiljøplaner. Og i den mindre skala har den været anvendt i forbindelse med VVM- bedømmelser (Vurdering af Virkning på Miljøet) og indsatsplaner i områder med særlige drikkevandsinteresser.

I områder med drikkevandsinteresser, hvor jorden kun har en beskedent eller ingen evne til at reducere nedsvivende nitrat til luftformigt kvælstof, er nitratkoncentrationen i det nedsvivende vand ved bunden af rodzonen et mål for om arealanvendelsen er bæredygtig.



Eksempel på Daisy i brug

Daisy er for eksempel blevet anvendt som administrativt planlægningsværktøj i et tilfælde, hvor et mindre samfunds vandforsyning var truet af nitratforurening. Vandindvindingen fandt sted fra et ubeskyttet grundvandsmagasin, der ligger under et område, der er præget af intensiv landbrugsdrift. Formålet med undersøgelsen var at vurdere effekten af forskellige reguleringer af landbrugsdriften.

Første skridt i undersøgelsen var at afgrænse det område, der bidrager til grundvandsdannelsen, det såkaldte nedslivningsområde. Udgangspunktet var et kort over det regionale grundvandsmagasin. En del af området bestod imidlertid af åbnære lavbundslande, der typisk afvandes til vandløb, og derfor ikke bidrager væsentligt til grundvandsdannelsen. Efter udelukkelse af disse områder var der et areal på 950 hektar tilbage, der hovedsagelig består af landbrugsland (73 procent) og skov (14 procent).

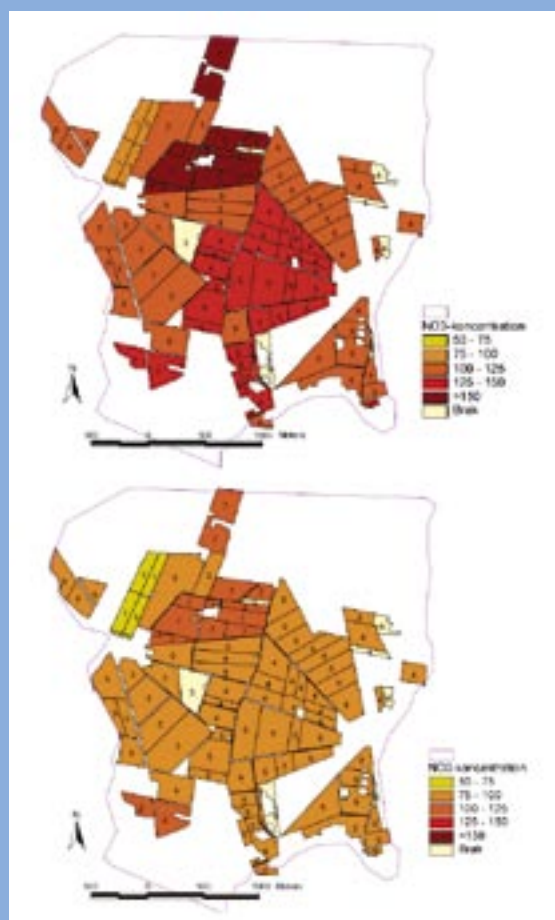
Næste skridt var at indsamle information om jordbund og landbrugsdrift i området. Der blev identificeret fire forskellige jordtyper, hvoraf de tre var sandede og den fjerde en grov sandblandet lerjord. Hver jordtype blev tildelt typiske værdier for jordparametre som for eksempel tekstur, retention, hydraulisk ledningsevne og indhold af organisk stof.

Vedrørende landbrugspraksis blev der indhentet information om antal husdyr, afgrødevalg, såtidspunkt, forventet udbytte, gødningspraksis (mængde, type og udbringningstidspunkt) og om jordbehandling og nedmuldning af halm. Det lykkedes at få information fra 65 procent af området. Vejrdata for en ti-års periode blev skaffet fra en nærliggende klimastation.

Tredje skridt var at opstille scenarier. Det første scenario repræsenterede den aktuelle tilstand, og det modsvarende på daværende tidspunkt en fuld implementation af Vandmiljøplan I. Scenarier 2 var en fuld implementation af Vandmiljøplan II, der netop var vedtaget. Hovedresultaterne er vist på figur 1.

Figur: Simuleret nitratkoncentration i vand der forlader rodzonen henholdsvis før og efter implementation af Vandmiljøplan II (efter Thirup, 1998)

Af figuren ses det, at de tiltag, der blev indført i forbindelse med Vandmiljøplan II, ikke var tilstrækkelige til at sikre, at nitratkoncentrationen i vandet, der forlader rodzonen, er mindre end grænseværdien for drikkevand på 50 milligram NO₃ pr. liter. Efterfølgende scenarier viste at det var nødvendigt at reducere antallet af husdyr i området for at nå dette mål.



Blød pizza og tørre rosiner



Foto: Jakob Helbig

Kan man lave mad som både er varmt og koldt på en gang? Findes der mad med overtryk? Er det muligt at lave mad, som både er vådt og tørt? Svaret er: Ja! ...Joh! ... Tjah! ... Det kommer an på...!

Lektor Jens Risbo, Institut for Fødevidenskab, KVL

Sagen er, at man sagtens kan finde eksempler på alle tre typer af mad, om end nogle eksempler er lidt specielle. Indbagt is hedder en dessert, hvor vaniljeis påføres et lag marengsmasse og bages i kort tid ved høj varme. Hvis retten ellers serveres hurtig nok, vil der være en rimelig stor temperaturforskel mellem marengsskallen og isen. Nyristede kaffebønner og nogle morgenmadsprodukter indeholder celler med kuldioxid under tryk. Mere dagligdags og relevante er fødevarer, hvor nogle områder er vådere end andre. Det kunne for eksempel være kiks med smøreost, franskbrød med sprød skorpe, müsli med rosiner, lasagne og endeligt slikblandinger med både salt lakrids og vingummi.

Hvis man tænker lidt over det, når man frem til, at vi ofte tilstræber at kombinere det våde og det tørre for at opnå de kontraster i mad, som de fleste mennesker finder gastronomisk interessante.

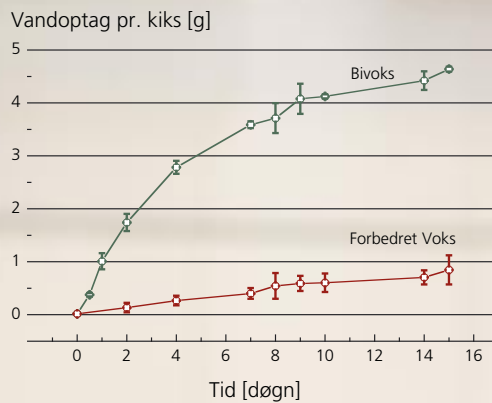
Naturen vil udligne forskelle

Problemet med alle tre slags mad er, at naturen tilstræber at udligne denne slags forskelle. Trykforskelle mindskes ved at gas siver ud, temperaturforskelle mindskes ved varmedledning og endelig vil vandaktivitetsforskelle – som det relevante mål for vådhed hedder – udlignes ved transport af vand. Hvis for eksempel en pizza ikke spises forholdsvis hurtigt, vil væden i tomatsovcen med sikkerhed ende med at gøre bunden slatten og kedelig.

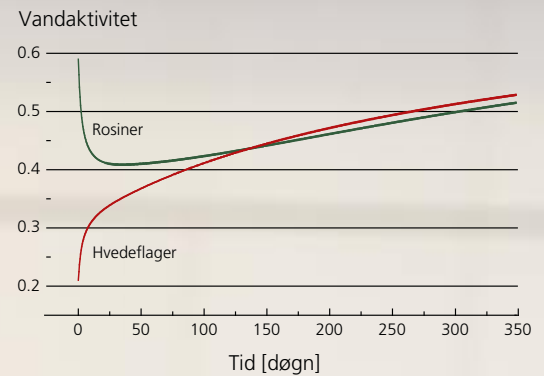
Svært at bevare kvalitet

Det er således blot et spørgsmål om tid før vand vil bevæge sig fra områder med høj vandaktivitet til områder med lav vandaktivitet – og navnlig tidsdimensionen gør, at der er forskellige muligheder for fremstilling og opbevaring af fødevarer i industrien sammenlignet med hjemme i køkkenet.

Transport af vand i fødevarer sætter grænser for hvilke produkter, der kan laves industrielt, og hvilke der stadig er lækre efter transport til og opbevaring i supermarkedet. For alle de førnævnte madeksempler gælder det, at de enten ikke findes som færdigprodukter, eller at kvaliteten er stærkt nedsat på grund af uønsket vandbevægelse. Den salte lakrids vil suge vand fra vingummien, som selv vil blive hård, kiks



Figuren viser vandoptaget (målt ved vejning) i to slags kiks som er i kontakt med en "våd" gel. Den ene kiks er overtrykket med naturlig bivoks og den anden er overtrukket med en forbedret kommerciel voks. Det ses at vandoptaget gennem bivoks sker hurtigt i forhold til den forbedrede voks. De to modelsystemer efterligner rigtige fødevarerprodukter såsom "kiks med smøreost".



Resultater fra computersimulering af vandoverførsel i en simplificeret müsli bestående af rosiner og hvedeflager. Produktet består af 80 procent hvedeflager og 20 procent rosiner og er emballeret i plastik og lagret i fugtige omgivelser (65 procent relativ fugtighed). Kurven viser, at gennem de første cirka 20 dage prøver systemet at udligne vandaktivitetsforskellen mellem rosiner og hvedeflager og rosinerne vil hurtigt virke lidt hårde. På længere sigt over cirka et år har vandindtrængning fra omgivelserne betydning og hvedeflager vil miste sprødhed.

vil blive blød og osten tør, lasagnepladerne bliver svampede og rosinerne i müslien bliver tørre og kedelige.

Voks kan forsinke vandets vandring

Forskning på KVL og flere danske ingrediensvirksomheder er rettet mod at forstå, forudsige og begrænse vandbevægelser i mad. Problemstillingen angribes fra flere vinkler. Ved at ændre produktets sammensætning forsøger man at nedsætte den drivende kraft – nemlig vandaktivitetsforskellen – for at mindske vandbevægelsen.

Man forsøger også at indsætte tynde lag af voksagtige stoffer, som begrænser hastigheden af vandtransporten og dermed udskyder det endelige problem. Endelig ser det ud til, at computerberegninger vil kunne forudsige tidsforløbet af vandbevægelser under hensyntagen til fødevarens sammensætning, geometri, emballering og opbevaringsforhold (temperatur og luftfugtighed).

Hurtig mad i fremtiden

Den tid, en gennemsnitlig familie har til rådighed til at tilberede et aftensmåltid, forventes om ti år at være nede på cirka ti minutter. Mors mad, som vi kender den, er således under kraftig beskyldning fra en travl hverdag, men fødevarerindu-

strien skal kunne levere kvalitetsprodukter for at være en tillokkende alternativ for familierne.

Vandtransport er blot et af de mange problemer, som industrien må tage op for at kunne konkurrere med kvaliteten af frisk, hjemmelavet mad. Den fysiske kemi, teknologien og gastronomien må gå hånd i hånd for at skabe nye produkter af høj kvalitet.

Vand – en genbrugsvare

Byerne er i vækst verden over, og med den gængse spildevandshåndtering betyder det et øget behov for vand til transport af affald gennem kloakkerne.

På KVL forsker vi i nye principper for genanvendelse og recirkulation af husholdningsspildevand og industrielt spildevand, så det ikke udledes til kloaksystemet men bliver udnyttet og samtidig bliver rensset på en hygiejnisk forsvarlig måde.

Lektor Jakob Magid, Institut for Jordbrugsvidenskab, KVL

Hvert 6. menneske på kloden har stadig ikke adgang til rent vand. Det skyldes ikke mindst dårlige sanitære forhold, forurening fra husholdninger og industri, og at vi er storforbrugere af vand, når vi skal af med vores affald.

Hver dansker producerer årligt cirka 55.000 liter affald, og langt det meste er vand fra bad, vask og toiletskyl. En lille del af det spildevand er langt mere koncentreret end resten og indeholder 80-90 procent af den samlede mængde næringsstoffer og organisk stof.

I fremtiden kan vi med lavtskylende toiletter nærme os en udskylning på 2000 liter affald pr. person. Det er ikke mere end at det, kan køres væk fra boligen i en tankvogn sammen med det organiske husholdningsaffald, og derved ændrer spildevandet fra boligerne sig fra at være rigt på næringsstoffer og organisk stof til at være næringsfattigt og med et lavere indhold af organisk stof.

Spildevandet fra nutidens boliger, hvor opvaskevand og toiletskyl ryger samme vej, kaldes for 'sort spildevand', mens spildevandet fra boliger, hvor toiletaffaldet ikke indgår, kaldes for 'gråt spildevand'. Der er forskellige muligheder for håndtering af det grå spildevand, blandt andet vil det i forbindelse med nybyggerier ofte være muligt at lave lokal rensning med efterfølgende udledning til forbrugerne, hvor vandet igen kan bruges til toiletskyl. Det kan også ledes mod jorden og nedrive til grundvand.

Gråt spildevand kan bruges til toiletskyl

Behandlet gråt spildevand fra en boligejendom kan man genbruge til toiletskyl. Et forsøg i ejendommen Nordhavnsgården på Østerbro viser, at biologisk rensset og ultra-violet-behandlet gråt spildevand kan få en kvalitet, der ligger meget tæt på kravene til drikkevand.

Indholdet af potentielt farlige eller giftige stoffer som metaller og miljøfremmede stoffer er meget lave i det opsamlede grå spildevand i Nordhavnsgården. Sundhedsrisici for beboerne, der bruger toiletter tilført behandlet gråt spildevand indsamlet fra flere husstande vurderes at være overordentlig lave.

Stor del af vandforbrug kan dækkes

I det konkrete projekt, som er gennemført af Moe & Brødsgaard i samarbejde med KVL, er der blev opsamlet og behandlet cirka 1.800 m³ gråt spildevand pr. år fra 84 lejligheder. Det svarer til omtrent 75 procent af lejlighedernes forbrug af vand til toiletskyl. To års drift af renseanlægget har vist, at det er meget driftssikkert og uden væsentlige lugtgener.

Det er i dag ikke tilladt at anvende behandlet gråt spildevand til nogen formål, men projektet anbefaler, at man fra politisk hold tager initiativ til retningslinier for brug af behandlet gråt spildevand til brug for toiletskyl.



Foto: Jakob Helbig



Illustration: Craig Stephens

Tis som gødning

På KVL's forsøgsmark for by-gødninger i Taastrup tildeler vi fast årligt en række gødninger på parceller à 900 m²: human urin, kompost fra kildesorteret husholdningsaffald, spildevandsslam, NPK og en række referencegødninger, som i forvejen bruges i økologisk jordbrug (kvæggylle, dybstrøelse, grøngødning og helt ugødnet).

Den humane urin bliver leveret fra nærliggende bebyggelser med separationstoiletter, der gør det muligt at opsamle urinen. I udgangspunktet vurderes human urin at være den mest acceptable gødning til brug for økologisk fødevarerproduktion. Den er meget ren hvad angår fremmedstoffer og tungmetaller, og forsøgene bekræfter en meget høj gødningsvirkning, på niveau med eller over NPK. Der er noget større usikkerhed ved kompost fra sorteret byaffald og spildevandsslam.

Gødningstyperne tilføres til de samme parceller hvert eneste år, så man efter brug i 5-10 år kan begynde at vurdere, om der opstår skadevirkninger, der ikke burde opstå. Dette gælder særligt for spildevandsslam og kompost fra byaffald, som derfor i særskilte parceller får tilført store mængder hvert år. Herefter vil man kunne se på, om der er opstået forandringer i jordens mikroorganismer med hensyn til resistens for medicinrester, og om der er øget frekvens af smitstoffer. Ses dette ikke vil det være et tegn på, at for eksempel ukendte organiske fremmedstoffer ikke volder alvorlige problemer i disse by-gødninger, så længe man respekterer de økotoxikologiske grænser fastsat for tungmetaller.

Konkurrencedygtig metode

I en verden med hastigt voksende byer er der stigende brug for velgennemprøvede robuste metoder til genbrug af vand og andre ressourcer. I tredje verdens mega-byer mangler der ofte grundlæggende organisering af vand og affalds kredsløb, og de konventionelle løsninger er alt for dyre. Derfor er

Spildevandshåndtering i Kuching, Malaysia

Kuching, hovedstaden i den malaysiske delstat Sarawak på Borneo, har vedtaget en strategi for fremtidig spildevandshåndtering, og KVL er sammen med det lokale universitet (UNIMAS) og Norges Landbohøjskole involveret i forskning i forbindelse med udviklingen.

P.t. bliver toiletspildevand udledt gennem septiktanke, der tømmes hvert fjerde år sammen med gråt vand fra køkken og bad direkte til åbne dræn. Det resulterer i høje niveauer af fækale bakterier i floderne, høje niveauer af næringsstoffer og organisk stof og kritisk lave iltkoncentrationer med årligt tilbagevendende udbrud af kolera til følge.

Konventionel spildevandsrensning er på grund af meget høje omkostninger kun realistisk for den centrale tæt bebyggede del af Kuching med højhuse og småindustri.

Med bistand fra Danida er Ministeriet for Miljø og Sundhed nået til, at investeringerne i infrastruktur vil være 400 procent dyrere ved konventionel frem for økologisk spildevandshåndtering, medens driftsomkostningerne vil være cirka dobbelt så dyre. En anden fordel ved den økologiske metode er, at den økologiske sanitet kan udbygges gradvis for hvert enkelt boligområde.

Gråt vand er rensat med succes i et lille boligområde i et konstrueret vådområde, med en udløbskvalitet der er langt bedre end standarden for europæisk badevand. Indsamling af toiletaffald fra lavtskyllende toiletter er påbegyndt, efter at septiktankene er blevet afskåret fra de åbne dræn. Efter biogasbehandling i en central enhed skal toiletaffaldet anvendes som gødning til oliepalmeplantager.



I flasken længst til venstre er der endnu olierester i vandet, men de er siet fra i den midterste flaske. Vandet i flasken til højre har været igennem et siveanlæg, der har gjort vandet langt renere end standarden for europæisk badevand.

en satsning på udvikling af disse ikke kun et spørgsmål om at gøre det 'rigtige'. Det kan også udvikle sig til en meget konkurrencedygtig strategi.

Landskabet over vores drikkevand



Danmarks drikkevand kommer næsten udelukkende fra grundvand. Kvaliteten af grundvandet er derfor vigtig for befolkningens sundhed. I 1970'erne og 80'erne fandt man ud af, at grundvandet mange steder var forurenet. Både i byerne og på landet måtte man lukke drikkevandsboringer. I byerne var det som regel industrikemikalier, der blev fundet i grundvandet, på landet var det nitrat.

Henrik Vejre, lektor, ph.d., Skov & Landskab, KVL

For at være sikker på at vi i fremtiden har store mængder rent grundvand til rådighed, har amterne efter krav fra Miljøministeriet udpeget drikkevandsområder overalt i Danmark. I drikkevandsområderne skal man tage særlig hensyn til grundvandet. Det betyder, at det ikke er lige meget, hvad der foregår i landskabet inden for drikkevandsområderne.

Fremtiden i drikkevandsområderne

I drikkevandsområderne foregår der ofte moderne landbrugsproduktion, og i mange af dem bor der masser af mennesker. Det er en stor udfordring at sikre, at de ting, der foregår i drikkevandsområderne, ikke skader grundvandet. Det er i dag amternes opgave og bliver efter alt at dømme en kommunal opgave efter kommunalreformen. Man skal grave affaldsdepoter op, og man skal lave aftaler med landmændene om at undlade brug af sprøjtemidler og for meget gødning og om at dyrke mere græs. Man kan også lave mere natur eller plante skov. Det har man for eksempel allerede gjort syd for Aalborg for at beskytte byens drikkevand.

Vi bruger landskabet til meget

Drikkevandsbeskyttelsen i fremtidens landskab afhænger af de formål, landskabet skal opfylde. De fleste steder foregår der landbrug eller skovbrug i landskabet – formålet er altså

ofte produktion. Men landskabet er også levested for vilde dyr og planter, og stadig flere mennesker flytter på landet – landskabet er altså også et sted, mange af os bor. Landskabet er et populært udflugtsmål for byernes befolkning. Landskabet er også endestation for en del af vores affald, og en stor del af vores transport foregår gennem landskabet. Og så leverer landskabet altså rent vand!

Men kan landskabet opfylde alle disse formål på en gang?

Grundvand og landbrug

Moderne landbrugsproduktion kan være problematisk for grundvandet. Men hvis man omlægger produktionen, så forbruget af gødning daler, og sprøjtning med pesticider ophører, kan man sagtens drive landbrug oven på grundvandet. Med brug af ny teknologi til at behandle husdyrgødning med kan man selv i de områder, hvor der er mange husdyr, undgå forurening af grundvandet.

Grundvand og friluftsliv

Som regel er det ikke noget problem med friluftsliv i drikkevandsområder. Det meste af vores friluftsliv foregår ved kysterne, hvor der ikke er så meget godt grundvand, og det friluftsliv, der normalt foregår i skovene og naturen i øvrigt, forurener ikke. Man kan oven i købet forestille sig, at drikkevandsområderne kan blive populære udflugtsmål med nye skove og andre naturværdier. Det er kun, hvis friluftslivet kræver nye anlæg, at der kan opstå problemer. Golfbaner bør for eksempel drives uden brug af gødning uden for greenen, og motorsportsanlæg må ikke placeres i drikkevandsområder.

Levested for dyr og planter

De vilde dyr og planter vil kunne få bedre levevilkår i drikkevandsområder med mere natur og skov, og mindre brug af gødning og sprøjtemidler i landbruget vil helt sikkert være en



Landskab i Brædstrup kommune i Østjylland der er udpeget som område med særlige drikkevandsinteresser. Til venstre ses landskabet i dag, mens billedet til højre er en manipulation, der viser konsekvensen af forskellige tiltag, der skal beskytte grundvandet. Der er plantet skov og brede hegn, og der er genoprettet tidligere vådområder. Endelig er en del af landbrugsjorden ændret fra kornproduktion til græsarealer. Samlet set vil de viste ændringer reducere udvaskningen med kvælstof til grundvandet med 15 procent. Udover beskyttelsen af grundvandet er naturværdierne og de rekreative muligheder styrket.

fordel for dyr og planter. Men der kan opstå problemer, hvis man begynder at pumpe store mængder grundvand op. Hvis man pumper vand op til drikkevand, vil åer, søer og moser i området mangle vand, fordi grundvandsspejlet sænkes. De våde naturområder vil derfor blive tørrere til stor skade for de arter, der lever her.

Vores affald er et problem

Det største problem i drikkevandsområderne er, at vi i mange år har brugt landskabet som losseplads. Vi har lagt husholdningsaffald på lossepladser, og vi har gravet giftaffald ned i jorden. Landmænd har fyldt vandhuller op med olietønder, landbrugsredskaber og alt muligt andet affald.

I dag spreder landmændene også gylle ud. Det er ikke altid som gødning, men fordi vi ikke ved, hvad vi ellers skal gøre af den. Alt dette affald truer grundvandet. I drikkevandsområderne må disse aktiviteter helt ophøre – også udbringning af den husdyrgødning, planterne på marken ikke har brug for.

Landbruget forandrer sig

I mange tusinde år har vi boet i landskabet. Indtil for cirka 150 år siden var det fordi, de fleste af os arbejdede med jorden. I dag bor vi på landet af alle mulige andre grunde. Siden 1960'erne er der i Danmark forsvundet mere end 150.000 landbrug. Men gårdene er ikke forsvundet. Ud over relativt få landmænd med store gårde og besætninger, bor der i dag hobbylandmænd, der har en lille smule jord, og desuden en masse mennesker der arbejder i byen men gerne vil bo med udsigt til marker og skove. I den del af landskabet der ligger tæt på byerne, det vil sige mindre end 50-60 kilometer væk, bor der mange flere bymennesker end landmænd. De byboer, der flytter på landet, er også meget interesserede i rent vand, og de vil kunne påvirke deres landmandsaboer til at tage hensyn til grundvandet. Men de skal også selv tænke

på grundvandet, når de ordner have eller driver deres hobbylandbrug.

Landskabet kan tilbyde os meget

Hvis vi tænker os godt om og planlægger fremtiden grundigt, kan vi lave mange ting i landskabet, der ikke truer grundvandet. Det er næsten kun moderne landbrugsproduktion med stort forbrug af husdyrgødning og sprøjtemidler, der ikke kan lade sig gøre i drikkevandsområderne. De ting, vi laver for at beskytte grundvandet, for eksempel naturgenopretning, landbrug med græsning og nye skove, vil oven i købet give os ekstra fordele. Bedre landskaber til friluftsliv og bedre landskaber til de mange mennesker, der bor derude.

Landskabet får nyt udseende

Det bliver spændende at se, om der bliver forskel på drikkevandsområder og det øvrige landskab. Det er allerede nu tydeligt, at man kører ind i Aalborg kommunes drikkevandsområde ved Drastrup. Her vil man se mere skov og flere græsmarker, hvor der før i tiden bare var almindelige kornmarker. Mange steder vil der sikkert også komme flere huse.

Som hjælp til dem der planlægger landskabet, og til de mennesker, der bor og arbejder i drikkevandsområderne, kan man lave scenarier. Scenarier er en måde at vise, hvordan fremtiden kunne komme til at se ud. På KVL har vi i flere år prøvet at lave billeder af, hvordan landskabet kunne komme til at se ud i et drikkevandsområde ved Brædstrup i Østjylland.

Klik ind på www.waterscape.dk og læs mere om scenarierne.



Foto: Jakob Helbig

Skove og rent drikkevand

Seniorforsker Karin Hansen & seniorforsker Lars Vesterdal
Skov & Landskab, KVL

Grundvandskvaliteten under gamle skove er generelt af god kvalitet. Det viser både danske og udenlandske erfaringer. Årsagen er først og fremmest et beskedent forbrug af pesticider og gødning i skovbruget. På tidligere landbrugsjord indgår skovrejsning derfor som et redskab i arbejdet for at beskytte grundvandet, og der er et politisk ønske om at øge skovarealet fra 11 procent til 20-25 procent i dette århundrede. Vandværker i flere større byer deltager for eksempel i projekter om skovrejsning til beskyttelse af grundvandsressourcerne.

Grundvandsdannelsen under skove er generelt mindre end under landbrugsjord på grund af en højere fordampning. Forsøg i EU-projektet AFFOREST viser, at nedsivningen af vand til grundvandet falder 3-4 millimeter pr. år de første 30-40 år efter tilplantning.

Vandet er desuden mere surt i jord under skov end under landbrug. Det øger mobiliteten af giftige metaller, først og fremmest aluminium og cadmium, som risikerer at sive ned til grundvandet. Denne risiko er dog formentlig kun til stede på sandet, næringsfattig jord.

Undersøgelser af nitratudvaskning efter skovrejsning viser, at denne bliver mindre de første 15-20 år efter tilplantning, hvor træerne vokser stærkt og er i stand til at optage al kvælstof. Herefter falder behovet for kvælstof, mens optaget af kvælstof fra atmosfæren samtidig bliver større. Så kan udvaskningen af nitrat igen øges. Udvasningen af nitrat vil dog ikke blive højere end under landbrugsjord, selv om nitratkoncentrationen kan overstige grænseværdien for drikkevand på 50 milligram NO³ pr. liter og være en del højere end i vand under gammel skovbund, hvor der aldrig har været landbrugsjord.

Hvad koster et rent vandmiljø?

Seniorforsker Brian H. Jacobsen,
Fødevareøkonomisk Institut, KVL

Vandmiljøplan I, II og III har over en årrække betydet, at vandmiljøet har fået det bedre, da blandt andet kvælstofudvaskningen er halveret fra midten af 80'erne til i dag. Med Vandmiljøplan III er målet en fortsat reduktion af kvælstof- og fosfortabet fra landbruget.

Analyserne forud for Vandmiljøplan III viste, at etablering af efterafgrøder og vådområder var de billigste virkemidler ved en reduktion af kvælstofudvaskningen. Omkostningerne ved efterafgrøder og vådområder er henholdsvis cirka 20 og 30 kroner pr. kilo reduceret kvælstoftab til vandmiljøet.

De samlede omkostninger ved Vandmiljøplan III er anslået til 200 millioner kroner årligt, hvilket er lavere end omkostningerne ved Vandmiljøplan II, der er vurderet til 550 millioner kroner årligt.

Ud over de nationale analyser har FØI også gennemført regionale analyser af omkostningerne ved at reducere kvælstofudvaskningen for Odense og Ringkøbing Fjord. Denne

type analyser er en forløber for de analyser, der kræves ved implementering af EU's vandrammedirektiv, som Danmark tiltrådte i 2003.

Vandrammedirektivet indeholder meget ambitiøse mål, der kræver en indsats ud over det, der er indeholdt i Vandmiljøplan III. For at nå målene kræves større reduktioner af både kvælstof- og fosfortabet til vandmiljøet. Det vil for nogle vandløb, søer og fjorde blive meget dyrt at nå målene, selv om der vælges de mest omkostningseffektive virkemidler. De årlige meromkostninger ved vandrammedirektivet kan blive højere end omkostningerne ved Vandmiljøplan II, men dette afhænger blandt andet af, hvilke præcise mål der sættes, og om alle lokaliteter skal nå målene. På de dyre lokaliteter vil det være nødvendigt at supplere omkostningsanalyserne med en vurdering af gevinsterne i form af øget naturindhold og sikring af grundvand med mere. Herefter er det muligt at vurdere, om den samfundsøkonomiske gevinst overstiger omkostningerne.

Referencer

- s. 3-5: GEUS, 2004: Grundvandsovervågning 1998 - 2003. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet 2004. Tilgængelig via www.grundvandsovervaagning.dk
- s. 9: Nederst: Andersen, L., Holm, P.E., Lehman, N.K.J., Samsøe-Petersen, L., Jørgensen, U., Mortensen, J.V. (2000). Phytooprensning af metaller. Forprojekt. Miljøprojekt Nr. 536, Miljøstyrelsen, Kbh. 62 sider.
- Jensen, J., Bak, J., Larsen, M.M. (1996). Tungmetaller i danske jorder. Tema-rapport fra DMU 1996/4, Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg, Miljø- og Energiministeriet. 40 sider.
- Scott-Fordsmann, J.J., Jensen, J., Bruss-Pedersen, M., Folker-Hansen, P. (1995). Økotoksikologiske jordkvalitetskriterier. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 13, Miljøstyrelsen, Kbh., 46 sider.
- s. 14-15: Hansen, S., Thirup, C., Refsgaard, J.C. and Jensen, L.S. (2001) Modelling of nitrate leaching at different scales - application of the Dasiy. In: Shaffer, M., Liwang, M and Hansen, S. (Eds.) Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Lewis Publishers, Boca Raton, 511-547
- Jensen, L.S., Mueller, T., Bruun, S. and Hansen, S. (2001) Application of the Daisy model for short and long-term simulation of soil carbon and nitrogen dynamics. In: Shaffer, M., Liwang, M and Hansen, S. (Eds.) Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Lewis Publishers, Boca Raton, 483-509.
- s. 16-17: Andersson M. og Dalsgaard A. (2004) Etablering og drift af anlæg til opsamling, rensning og genanvendelse af gråvand til toiletskyl og maskinvask af tøj. Rapport nr. 47. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning, Miljøstyrelsen.
- Magid J. (2002) Byernes affaldshåndtering og næringsstofkredsløb. Kapitel 10. I: 'Visioner for Fremtidens Jordbrug'. Eds. E.S. Jensen, H. Vejre, S. Højbjerg Bügel and J. Emanuelsson, Gads Forlag, København, 181-202
- Wrisberg S.; Eilersen A. M., Nielsen S.B., Clemmesen K., Henze M. og Magid J. (2001) Vurdering af muligheder og begrænsninger for recirkulering af næringsstoffer fra husholdninger fra by til land. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning 14. Miljøstyrelsen. 238 pp.
- s. 20-21: www.waterscape.dk
- s.22: www.sl.kvl.dk/afforest
- s. 22: Jacobsen, B.H. et al. (2004). Omkostninger ved reduktion af landbrugets næringsstofftab til vandmiljøet. Rapport nr. 167. Fødevarøkonomisk Institut.
- Jacobsen, B.H. (2004). Økonomisk slutevaluering af Vandmiljøplan II. Rapport nr. 169. Fødevarøkonomisk Institut. Se nærmere på www.foi.dk



KVL dyrker naturressourcerne

KVL er eksperter, når det gælder naturressourcerne i det åbne land. Her anvender vi kemi, biologi og økonomi på en plante, en ko, en jordprofil eller et helt økosystem – fra atom til region.

Vi har olie i Nordsøen, men magasinerne tømmes. Jord, vand og et stort levende bibliotek af genetisk information af de vigtigste naturressourcer på land. Landskabet er blevet brugt og udviklet siden istiden og er i dag grundlaget for både en højteknologisk fødevarerproduktion og et sted, hvor vi kan boltre os i naturen, ånde den friske luft, finde det klare kildevand og nyde det åbne lands mangfoldighed. Og det åbne lands ressourcer rummer nye muligheder – måske er det her, vi skal dyrke fremtidens medicin, hvor vi skal dyrke planter til brændsel og fremstilling af ethanol. Det åbne lands ressourcer tømmes ikke, hvis vi tænker os om.

På KVL har vi 150 års erfaring i samspillet mellem natur, produktion og menneske – vi er et universitet på forkant med udvikling af værktøjer til brug i en flersidig udnyttelse af naturen.

KVL har netop lanceret en ny treårig bacheloruddannelse i naturressourcer, der giver en bred viden inden for anvendt biologi. Bacheloren i naturressourcer giver adgang til en bred vifte af kandidatuddannelser inden for plantevidenskab, skovbrug, natur og samfund, miljøvidenskab og husdyrvidenskab.

Læs mere om bacheloren i naturressourcer på www.kvl.dk