

Risiko og usikkerhed – miljø og fødevarer



TEMA-rapport fra DMU
32/2000

Risiko og usikkerhed – miljø og fødevarer

Hans Løkke

TEMA-rapport fra DMU, 32/2000,
Risiko og usikkerhed – miljø og fødevarer

Forfatter: Hans Løkke
Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Terrestrisk Økologi

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser ©
URL: <http://www.dmu.dk>
Udgivelsestidspunkt: Juli 2000

Layout: Silkeborg Bogtryk
Forsidefoto: Naturhistorisk Museum, Århus / Nick Møller

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Silkeborg Bogtryk, miljøcertificeret (EMAS reg. nr. DK-S-0084)
Papir: Cyclus Print, 100% genbrugspapir
Trykfarver: Vegetabiliske uden opløsningsmidler. Omslag lakeret med vegetabilisk lak.
Sideantal: 52
Oplag: 2000
Trykt: Juli 2000

ISSN (trykt): 0909-8704
ISSN (elektronisk): 1399-4999
ISBN: 87-7772-555-7

Pris: 50,- kr. Klassesæt á 10 stk: 300,- kr. Abonnement (5 numre): 225,- kr.
(Alle priser er incl. moms, excl. forsendelse)
Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside.

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tel: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Miljøbutikken
Information & bøger
Læderstræde 1-3
1201 København K
Tel: 33 95 40 00
Fax: 33 92 76 90
E-mail: butik@mem.dk
URL: www.mem.dk/butik

Forord	4
Om fare, risiko og usikkerhed	5
Eksempler på risikovurdering	17
Boks 1 – Pesticider i fødevarer og drikkevand	18
Boks 2 – Gensplejsede mikroorganismer	22
Boks 3 – Gensplejsede planter	24
Boks 4 – Antibiotika-resistente bakterier i miljøet	26
Boks 5 – Spildevandsslam i landbruget	28
Boks 6 – Forurenet jord	31
Boks 7 – Dioxiner i fødevarer	33
Boks 8 – Partikler fra trafikken	36
Om opfattelsen af risiko	39
Sammenfatning	46
Litteratur	47
Forkortelser og ordforklaringer	48
Danmarks Miljøundersøgelser	50
Tidligere TEMA-rapporter fra DMU	51

Forord

Samfundet anvender mange resurser på at reducere forskellige risikoer, som hver enkelt ufrivilligt kan blive udsat for. Nogle vil mene, at der er områder, hvor der ikke gøres nok. Andre vil hævde, at indsatsen er for stor på nogle områder. Dette temahæfte vil bidrage til at belyse begreberne risiko og usikkerhed med udgangspunkt i eksperternes verden.

En række eksperter, som til dagligt arbejder med problemstillingerne, har bidraget til temahæftet med en gennemgang af 8 udvalgte eksempler på, hvorledes risiko rent faktisk behandles i dagens Danmark:

- Boks 1: Otto Meyer, Fødevaredirektoratet, Institut for Fødevarer-sikkerhed og Toksikologi: Pesticider i fødevarer og drikkevand
- Boks 2: Niels Bohse Hendriksen, DMU, Afdeling for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi: Gensplejsede mikroorganismer
- Boks 3: Christian F. Damgaard, DMU, Afdeling for Terrestrisk Økologi: Gensplejsede planter
- Boks 4: Niels Kroer, DMU, Afdeling for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi: Antibiotika-resistente bakterier i miljøet
- Boks 5: John Jensen, DMU, Afdeling for Terrestrisk Økologi: Spildevandsslam i landbruget
- Boks 6: John Jensen, DMU, Afdeling for Terrestrisk Økologi: Forurenede jord
- Boks 7: John Chr. Larsen, Fødevaredirektoratet, Institut for Fødevarer-sikkerhed og Toksikologi: Dioxiner i fødevarer
- Boks 8: Ole Hertel, DMU, Afdeling for Atmosfærisk Miljø: Partikler fra trafikken.

De udvalgte eksempler knytter sig til det daglige liv. Det har ikke været hensigten at dække alle områder, men at begrænse fremstillingen til miljø og fødevarer. Der omtales således ikke industri, byggeri, transport og lignende. Globale eller regionale miljøproblemer som klimaændringer, påvirkninger af ozonlaget, forurening af havet eller forsuring af jorden er heller ikke behandlet i dette temahæfte. For en mere dybtgående behandling af emnerne, specielt vurderingen af kemiske stoffer, henvises til speciallitteraturen.

En særlig tak rettes til forfatterne af boksene og afdelingschef Hans Larsen, seniorforsker Birgitte Rasmussen og programleder Nijs Jan Duijm, Forskningscenter Risø, professor Finn Bro-Rasmussen, DTU, professor Ole Andersen, RUC, seniorforsker Erik Olsen, Arbejdsmiljøinstituttet, cand. scient. Henrik Tyle, Miljøstyrelsen og cand. agro. Gitte Silberg Poulsen, Skov- og Naturstyrelsen, som kritisk har gennemgået teksten og bidraget med konstruktive kommentarer til temarapporten.

Hans Løkke

Om fare, risiko og usikkerhed

Hvor det tidligere stort set kun var økonomiske parametre, som styrede produktion og salg af varer, mener forbrugerne i stigende grad, at det er vigtigt, at produktionen er acceptabel. Det vil sige, at maden, boligen, tøjet og andre produkter skal være fremstillet, så det lever op til krav, som ofte hviler på etiske kriterier. Mange forbrugere ser "teknologien", "udviklingen" og "økonomien" som stærke fænomener, som det enkelte menneske ikke kan stille noget op i forhold til. Der er hos mange mennesker en generel afmagt over for disse ustyrlige størrelser. Det er uklart, hvem der er ansvarlige over for udviklingen og hvem, der står bag de forskellige teknologier. Det enkelte individ føler, at det er frataget ansvar og handlemulighed.

Hertil kommer, at samfundet åbenlyst har vanskeligt ved at håndtere komplekse problemstillinger. Mediernes fremstilling er ofte forenklet, ensidig og sensationspræget. Det medvirker til, at borgere og eksperter ofte opfatter risiko ("risikodefinitionen") forskelligt. De taler ikke samme sprog, og ofte vender borgerne ryggen til eksperternes belærende og saglige oplysninger. Det er ikke ualmindeligt at høre udsagn som:

- De leger Gud. I dag er det soja, men hvem ved, hvad de splejser sammen i morgen?
- Hvad skal jeg med gen-mad?
- Salmonella, kogalskab og pesticider - det er snart umuligt at finde noget mad, som ikke er farligt.
- Landmændene tænker kun på penge og ikke på miljøet.

- Hvis de finder pesticider i mit drikkevand, så er jeg på Coca Cola.
- Hvorfor propper de kemi i alting?

Næst efter mad, drikke og søvn har mennesket et basalt behov for sikkerhed. Opfattelsen af risiko indeholder derfor stærke følelsesmæssige aspekter. Ordet risiko bruges i daglig tale, men det mangler en tydelig definition i hverdagens sprog.

I denne temarapport tager vi fat på nogle af de emner, som er så vanskelige i kommunikationen mellem borgere og fagfolk. Vi definerer risiko som en kombination af hyppigheden af en uønsket hændelse og omfanget af konsekvenserne. Vi vil især forsøge at belyse følgende centrale spørgsmål:

- Hvad er risiko og usikkerhed?
- Hvordan udføres en risikovurdering?
- Hvor og hvornår kommer videnskaben til kort?



FOTO: UKENDT, CA. 1910

Tilliden til industrien, landbruget, myndighederne og videnskaben er ikke længere en selvfølge.

Både borgere og eksperter skal blive bedre til at kommunikere med hinanden. Det kræver naturligvis en vis "oplysning" af borgerne, men det kræver også, at borgerne bliver taget mere alvorligt af eksperterne. Det drejer sig ikke om, at der kommunikeres "på den rigtige måde", men snarere om at samtalen i højere grad end sædvanligt skal føres på borgernes præmisser i forhold til de teknologiske valg og usikkerheder, som bekymrer borgerne.

En række begreber som fare, risiko og hvordan man opfatter og håndterer risikoer illustreres i det følgende med knive, ulve og benzin som simple og kendte eksempler. Derefter behandles emnerne mere indgående og med tekniske eksempler.

Knive, ulve og benzin

En kniv er *farlig*, fordi man kan skære sig på den, og visse knive er *forbudte* for at begrænse deres brug som våben. Kniven er nyttig, fordi man kan skære med den. Denne nytte er vigtigere end faren ved knivens skær. Derfor *accepteres* knivens farlighed, i det mindste af voksne, som har lært at *håndtere* en kniv. Erfaringerne med knive fortæller videre fra voksne til børn. Denne *kommunikation* kan både være belærende (envejs) eller foregå som en dialog mellem den voksne og barnet (tovejs). Ved at kommunikere om faren

Der findes i stort set alle egne af landet beretninger, sagn og myter om ulve og deres ugeringer, som på forskellig vis er overleveret til vor tid. Tænk blot på Brødrene Grimms eventyr om "Rødhætte og Ulven" eller på "Den store Stygge Ulv".



ved at bruge knive, bliver *sandsynligheden* for, at man skærer sig, mindre. Dette udtrykker man ved at sige, at *risikoen* kan formindskes ved fornuftig brug af knive. *Risikoen er således sammensat af en sandsynlighed for, at noget sker, og af konsekvenserne af hændelsen.* Jo større sandsynlighed, desto større risiko. Og jo alvorligere konsekvenser hændelsen indebærer, desto større risiko. En skarp kniv medfører alt andet lige en større risiko end den sløve for at skære sig, men såret heles oftest hurtigere. Det er også vigtigt at slå fast, at stort set enhver vil være i stand til at *vurdere*, om risikoen ved at bruge en bestemt kniv i en given situation er større eller mindre – og eventuelt er *ubetydelig*, nemlig hvis der *træffes tilstrækkelige foranstaltninger*.

Ulven *opfattes* som et farligt dyr, selv om den sjældent angriber mennesker. Derimod forgriber ulve sig ofte på lam. Fåreavlere kan derfor hævde, at *risikoen er stor* for at miste lam, hvis der kommer ulve til Danmark. Den sidste ulv i Danmark blev nedlagt ved Flyndersø i Jylland i 1813. Sålænge ulvene i Danmark kun findes i zoologiske haver og i andre særligt sikrede indhegninger, er *risikoen meget lille*. Sandsynligheden for at møde og blive overfaldet af en ulv på gaden eller i naturen i Danmark er så *tæt på nul*, at vi opfatter den som *uden betydning* eller *ikke-eksisterende*. Risikoen er imidlertid ikke *nul*, for ulvene kan teoretisk set slippe ud af deres bur, eller en ulv kunne forvilde sig over den dansk-tyske grænse eller over Øresundsbroen. De fleste kan forestille sig risikoen ved at have ulve i Danmark, men mange vil nok bedømme risikoen for mennesker som større, end den er i *en naturvidenskabelig risikovurdering*. Ulven er desuden et eksempel på en opfattelse af risiko, som er kulturelt og historisk betinget. Den almindelige opfattelse af ulven er stærkt præget af tidligere tiders frygt for dyret. Uanset opfattelsen af risikoen ved ulven, er den et *farligt* dyr.

Kemiske stoffer vækker bekymring hos de fleste mennesker, og der anvendes mange



FOTO: 2. MAJ / SONJA ISKOV

Alle kender lugten af benzin. Det betyder, at de har indåndet benzindampene. Benzin er en blanding af giftige stoffer, som de fleste mennesker omgås uden større bekymring.

tusinder forskellige af dem i Danmark. Hovedparten giver ingen problemer, men en del af stofferne er giftige for mennesker og miljø og enkelte meget giftige. Giftige, brandfarlige eller ætsende stoffer er *farlige*. Benzin er meget brandfarlig og kan eksplodere. De fleste kemiske stoffer optræder i produkter, som hver kan indeholde mange forskellige kemiske stoffer. Hver dag bruger de fleste mennesker farlige kemiske stoffer uden egentlig at tænke over det. Fx er benzin en blanding af farlige kemiske stoffer. Stofferne kan optages i lungerne samt gennem huden, hvis benzinen spildes på hænderne, når bilen bliver tanket. Tidligere indeholdt al benzin stoffer med det giftige tungmetal bly, som blev spredt i store mængder med udstødningsgasserne. Hvis der spildes benzin på asfalten, vil de giftige komponenter i benzinen kunne fordampe og forurene luften, men også kunne skylles ud i kloakken og via renseanlægget nå vandmiljøet, eller stofferne vil kunne sive ned til grundvandet gennem jorden. I benzinen er der mange giftige stoffer, bl.a. det kræftfremkaldende stof benzen, som let fordampes.

DMU og andre har målt, at byluften indeholder dampe af benzen. Stort set alle mennesker indånder hver dag små mængder af benzen og andre kræftfremkaldende stoffer, som

findes i benzin. Hertil kommer forbrændingsprodukter og delvis uforbrændte produkter fra bilernes udstødning. Der er med andre ord en risiko ved at anvende benzin og diesel som brændstof. De fleste mennesker mener, at denne risiko opvejes mere end rigeligt af fordelene ved at køre i bil. Man kan sige, at risikoen ved at bruge benzin som brændstof generelt er *accepteret* – dog mest af bilisterne og i mindre grad af byboere uden bil. Myndighederne og mange af borgerne er i høj grad opmærksomme på disse forhold og bestræber sig på, at sundhedsfaren og forureningen fra bilerne bliver reduceret mest muligt. Samfundet og myndighederne har valgt at *håndtere risikoen* ved hjælp af regler og love, bl.a. om benzinenes sammensætning og krav om katalysatorer på bilerne. Samfundet har også – forgæves – forsøgt at formindske trafikken. Risikoen ved at bruge benzin og risikoen ved den luftforurening, som følger heraf, er kompliceret. *Vurderingen* af risikoen kræver en faglig indsigt og samarbejde mellem forskellige fagområder. Denne vurdering af risikoen foretages af eksperter, som har en lang uddannelse og længerevarende erfaring på området.

Eksemplerne med knive, ulve og benzin i indledningen berører de grundlæggende spørgsmål og begreber inden for risikovurderingen. Alle disse begreber er samlet

i Tabel 1. Efter spørgsmålene er vist de ord, som eksperterne anvender i Danmark, i EU og i den øvrige verden.

De begreber, som bruges i risikovurderingen, bliver nøjere gennemgået i temahæftet og illustreres i særlige "bokse" med udvalgte eksempler fra hverdagen.

Men også det "grå område" er med, dér hvor naturvidenskaben kommer til kort. Dér, hvor vores viden er for lille, hvor tilliden til eksperter, producenter og myndigheder er lille, eller hvor etiske og politiske holdninger tager over. Dér, hvor usikkerheden råder, og hvor forsigtighedsprincippet kommer ind i billedet (se side 41).

Det er vigtigt at være opmærksom på, at videnskaben ikke er rent objektiv og værdifri i sin søgen efter sandheden. Videnskab er en kreativ proces, hvor sociale og subjektive værdier påvirker iagttagelserne, analyserne og fortolkningen. Uanset hvor objektivt en forsker arbejder, vil forskeren ligesom alle andre mennesker være præget af sin bag-

grund og holdninger eller af loyalitet mod sine kolleger eller sponsorer. Læg for eksempel altid mærke til, hvem der har betalt for en undersøgelse. Sponsorerede undersøgelser er sjældent uhæderlige eller af dårlig kvalitet, men de indebærer ikke altid, at spørgsmålene bliver belyst fra de mest kritiske vinkler.

Hvilken fare er der tale om?

Vurderingen af en risiko vil altid være udsprunget af viden eller mere eller mindre vel underbyggede informationer, som tyder på, at der kan ske skade eller andre uønskede effekter på sundheden, miljøet eller materielle værdier. Eksperterne vil normalt starte med at afgrænse, hvad der kan ske, hvad konsekvensen vil være, og hvem eller hvad det vil gå ud over. De vil også søge at få et overblik over så mange andre aspekter som muligt, inden den egentlige vurdering af risikoen starter. Fx kan det være vigtigt at vide, hvad der er årsagen til faren, om hændelserne kan kontrolleres og om konsekvenserne kan begrænses i omfang. Det er

Tabel 1. Oversigt over de vigtigste spørgsmål og begreber om risiko. Bemærk den trinvis opstilling af begreberne i en proces fra 1 til 4. Eksperternes tilsvarende sprogbrug er vist med fed skrift og angivet på engelsk i parentes. Opfattelsen af risikoer og accepten af risikoer findes på alle fire trin og kan måske ændres under processen.

1. Hvad kan der ske? Fareidentifikation (Hazard identification)	2. Hvor ofte sker det, og hvor store er konsekvenserne? Risikoanalyse (Risk analysis)	3. Hvor stor er risikoen set i lyset af den tekniske og samfundsmæssige viden? Risikovurdering (Risk assessment)	4. Kan man leve med risikoen? Risikohåndtering og risikokommunikation (Risk management and risk communication)
--	--	---	---

Hvordan opfattes risikoen af borgerne/forbrugerne og fagfolk?
Risikoopfattelse (Risk perception)

Kan risikoen accepteres?
Risikoaccept (Risk acceptance)

også vigtigt at vide, om skaderne er uoprettelige eller midlertidige. Der kan også gå lang tid efter en hændelse, før skaderne viser sig. Endelig vil det videre forløb være afhængigt af, om effekterne er marginale, eller om de kan udvikle sig til en katastrofe.

Ekspertene vil gå systematisk til værks og foretage det, de kalder en identifikation af farligheden. Der foreligger på mange områder procedurer, som eksperterne går frem efter. Det kan fx være nationale eller EU-forordninger om vurdering af kemiske stoffer og produkter, gensplejsede organismer eller arbejdsmiljøet. For kemiske stoffer vil der for eksempel først blive foretaget en vurdering af farligheden. Er stoffet overhovedet giftigt eller udsættes miljøet eller nogen overhovedet for stoffet i en koncentration, der er giftig? Eller er det af andre grunde uønsket? Hvis ikke, er der sandsynligvis heller ikke nogen risiko.

I nogle tilfælde rejser borgere eller grønne organisationer stærk tvivl om eksperternes vurdering af en risiko. Det kan både dreje sig om små og overskuelige problemer som indholdet af et bestemt kemisk stof i tandpasta eller om store og komplicerede problemer som atomkraft, brugen af gensplejsede organismer og drikkevandets kvalitet. I disse sager kan der være store forskelle i opfattelsen af risikoen, hvis man spørger henholdsvis borgerne og eksperterne. Der er mange eksempler på, at eksperter har afvist, at der skulle være tale om en risiko på et område, som derefter er blevet kulegravet og belyst i årevis – og som regel med det resultat, at der faktisk har været behov for en bedre risikovurdering. Kulturelle eller etiske forhold kan også være medvirkende til, at der er et behov for uddybende vurderinger af risikoen, som i den efterfølgende politiske proces kan føre til, at en hel teknologi forkastes eller bliver stærkt kontroversiel.

I sidste ende er det vigtigt, at eksperterne respekterer, at den videnskabeligt baserede



FOTO: NATURHISTORISK MUSEUM, ÅRHUS / NICK MØLLER

vurdering af risikoen ikke nødvendigvis kan stå alene, men at den skal ses i sammenhæng med etiske, økonomiske, sociale og kulturelle forhold, som kan have afgørende betydning for, om en given risiko kan accepteres. Fx overskrider gensplejsning med menneskets gener de etiske grænser hos mange mennesker. Risikoen for skader på miljøet ved at bruge pesticider er stor, men afvejes over for de økonomiske fordele. Brugen af stoffer med skadelige bivirkninger som lægemidler accepteres af sociale årsager. Og brugen af kunstige farvestoffer i røde pølser og slik er kulturelt betinget. Omvendt er det lige så vigtigt, at befolkningen skal have tillid til, at eksperterne og myndighederne arbejder så objektivt som muligt på at skabe et solidt grundlag for vurderingen af de forskellige former for risiko, som vort komplicerede samfund uafvendeligt fører med sig. Det er ligeledes vigtigt, at uafhængige forskere, ikke-statslige organisationer (NGO'er) og andre interesseorganisationer, ja hele offentligheden kan kikke dem over skulderen.

Hvor stor er risikoen?

Det er en erklæret målsætning for regeringen, at den danske miljøpolitik skal være viden-

Kulturelle eller etiske forhold kan også være medvirkende til, at der er et behov for uddybende vurderinger af risikoen, som i den efterfølgende politiske proces kan føre til, at en hel teknologi forkastes eller bliver stærkt kontroversiel. Atomkraft og gensplejsning er eksempler herpå. (Havfrueskelet fra Zoologisk Museum i København).

baseret. Viden er forudsætningen for at kunne forstå og om muligt at kontrollere de risikoer, som kan være forbundet med ny teknologi, såsom nye kemiske produkter eller gensplejsning. Når eksperterne skal vurdere en risiko, anvender de som udgangspunkt så vidt muligt eksakte, stringente, videnskabelige metoder. Det giver dog ikke altid sikre, naturvidenskabelige resultater.

En risiko udtrykker en kombination af hyppigheden af (eller sandsynligheden for) en uønsket hændelse og omfanget af konsekvenserne. Den uønskede hændelse kan fx være en ulykke, skader eller på anden måde uønsket effekt på sundheden eller miljøet, eller en begivenhed, som på anden vis er uønsket. En risiko er således sammensat af 2 elementer, nemlig en hyppighed (sandsynlighed) og en konsekvens af en given hændelse.

Risiko = Sandsynlighed x konsekvens

En risiko udtrykker en kombination af hyppigheden af (eller sandsynligheden for) en uønsket hændelse og omfanget af konsekvenserne.

I Boks 1 og 7 omtales risikoen af henholdsvis pesticider og dioxiner. I disse eksempler er der indbygget usikkerhedsfaktorer, således at sandsynligheden for, at forbrugeren vil kunne indtage fødevarer gennem et helt liv uden skader på helbredet, regnes for meget stor. I Boks 5 og 6 beskrives effekter på miljøet som følge af anvendelsen af slam og vurderingen af forurenede jords virkning på miljøet. I det første tilfælde ligger påvirkningen tæt på det niveau, hvor der på langt sigt kan ske skader, i det andet tilfælde er miljøet ofte allerede negativt påvirket.

Myndighederne og eksperterne vurderer risikoen ved kemiske stoffers virkning på miljøet ved at sammenligne den koncentration, de kan måle eller beregne i miljøet (PEC, Predicted Environmental Concentration), med den koncentration, som de vurderer

som sikker for organismerne i miljøet (PNEC, Predicted No Effect Concentration). Den simpleste form for risikovurdering af kemiske stoffer kalder eksperterne for *worst case*-vurderingen. Den er fx grundlag for nye kemiske stoffers markedsføring uden yderligere påtale, hvis *worst case*-vurderingen ikke tyder på skadelige virkninger på sundheden eller miljøet. *Worst case*-vurderingen har også betydning for, hvilke kemiske stoffer, der bliver udpeget til en grundigere undersøgelse og risikovurdering. Denne gennemføres normalt på grundlag af standardiserede, tekniske vejledninger og betegnes "generisk risikovurdering". Generisk betyder generaliseret eller standardiseret med hensyn til målene for miljøbeskyttelsen og miljøforholdene, og tid og sted indgår ikke specifikt. Den centrale parameter i den "generiske risikovurdering" er den såkaldte risikobrøk (RQ = Risk Quotient):

$$RQ = \frac{PEC}{PNEC}$$

Denne beregning benytter oplysninger om stoffernes spredning, binding og nedbrydning i miljøet og de sandsynlige udslip til miljøet under produktion, transport, anvendelse og bortskaffelse. Den mulige koncentration i miljøet, PEC, beregnes for de dele af miljøet, hvor modelberegninger eller målinger viser, at stoffet vil kunne dukke op. Det kan fx være i ferskvand, bundslam, spildevandsslam eller i havet.

PNEC bestemmes oftest ud fra stoffernes virkning på forskellige organismer i laboratoriet. PNEC kan beregnes ved hjælp af faktorer, der skal tage højde for uundgåelige usikkerheder i vurderingen. PNEC kan også beregnes med matematiske modeller som den koncentration i miljøet, der ikke påvirker den overvejende del af organismene. Hvis PEC er væsentligt mindre end PNEC, så bliver RQ lille. For små værdier af RQ, fx når RQ er mindre end 0,01, forventes der ikke at være risiko ved det pågældende stof. Med en

sådan “reduktionsfaktor” på 100 gange kan man tale om en *ubetydelig risiko* eller en *bagatelgrænse*.

Hvad er sandsynlighed?

En terning har seks sider med øjne. Sandsynligheden for at få en sekser er $1/6$ i hvert kast. Enhver ved, at det er muligt at slå en sekser to eller flere gange i træk. Det rykker ikke ved den kendsgerning, at den *statistiske sandsynlighed* for at få en sekser er $1/6$ i hvert kast. Tilsvarende er sandsynligheden $5/6$ for ikke at få en sekser i ét kast. Alle er bekendt med og accepterer, at sådan forholder det sig. Hvis spillet har konsekvenser, fx i form af tab eller gevinst, er der en risiko for tab. De fleste mennesker er villige til at acceptere risikoen for at tabe, hvis indsatsen er lille, fx 1 krone. Hvis der er tale om risikoen ved at spille om 1 krone ved ét kast med én terning for at opnå en sekser, kan risikoen for at tabe, R , skrives som:

$R = 5/6 \times 1$, hvor $5/6$ er sandsynligheden for at tabe ved ét kast med én terning, i et spil, hvor indsatsen er én krone ved ét slag.

Hvis indsatsen er større, fx 100 kroner, er sandsynligheden for at tabe den samme, men den økonomiske risiko R ved at spille er 100 gange større:

$$R = 5/6 \times 100$$

Mere generelt siger denne ligning, at $R = \text{sandsynligheden} \times \text{konsekvensen}$.

På miljøområdet er der også tab eller ulemper og gevinster. Ligeledes kan der beregnes en sandsynlighed for at tabe og vinde, endskønt det er betydeligt mere kompliceret at foretage beregningerne. I Tabel 2 er vist nogle eksempler på tab og gevinster på miljøområdet, og størrelsen af sandsynlighederne er skønnet.

I nogle tilfælde er sandsynligheden for et uheld lille, men konsekvensen af uheldet

stor. Det gælder atomkraft, hvor der er meget lille sandsynlighed for alvorlige uheld, men hvor et alvorligt uheld kan have katastrofale følger. Et andet eksempel er kogalskab i Danmark, hvor sandsynligheden for at blive smittet ved at spise oksekød er lille. Derimod er konsekvenserne af en spredning af sygdommen meget stor.

Hvad er usikkerhed?

At en forudsigelse er usikker, kan skyldes, at det, der forudsiges, varierer fra gang til gang eller fra sted til sted, eller at viden er mangelfuld. Når eksperterne måler koncentrationen af bestemte miljøfremmede kemiske stoffer i en plante, kan målingen udføres præcist. Det kræver “bare”, at de anvender en velegnet metode og råder over et laboratorium med de nødvendige apparater og ved, hvordan de bruger dem. Hvis analysen gentages, vil eksperterne få næsten det samme resultat, bort set fra, at der altid er en vis *måleusikkerhed* på bestemmelsen. Hvis den samme prøve analyseres på flere laboratorier, får selv eksperter forskellige resultater. Det skyldes små forskelle i håndteringen af analysen og brugen af apparaterne, som kan variere fra person til person og fra laboratorium til laboratorium. Den kemisk-analytiske bestemmelse vil dog som regel være temmelig nøjagtig, og eksperterne kan beregne, hvilken usikkerhed, der er på *måleresultaterne*.

Hvis eksperterne foretager en analyse på en anden plante fra samme sted, vil den typisk have et andet indhold af det miljøfremmede stof. Planter, som indsamles andre steder, vil indeholde andre koncentrationer af det pågældende miljøfremmede stof. Lad os tænke os, at der er udført et passende antal prøver over hele landet, og at det i store træk er kendt, hvorledes den pågældende forurening spredes gennem luften og til jord og vand. Så kan eksperterne samle denne viden i en model, der kan forudsige, hvilke koncentrationer der kan forventes et givet sted. En sådan forudsigelse er naturligvis behæftet

Tablet 2. Eksempler på tab og gevinster ved anvendelse af gensplejsede afgrøder, som er resistente mod ukrudtsmidler (herbicer) set i forhold til konventionelle afgrøder. Desuden vises sandsynligheden for tab og gevinst i landbrug, som anvender ukrudtsmidler set i forhold til landbrug, som ikke anvender dem. Eksempler på sandsynligheder for tab og gevinst er anført.

Gensplejsede planter med resistens over for ukrudtsmidler

Tab	Sandsynlighed for tab	Gevinst	Sandsynlighed for gevinst
Tab af biodiversitet	Meget lille	Driftsikker produktion af afgrøder	Måske stor
Fare for sundheden i form af giftvirkning	Meget lille	Bedre sundhed pga. færre rester af pesticider	Meget lille
De gensplejsede planter bliver til besværligt ukrudt	Lille	Mindre belastning af miljøet med ukrudtsmidler	Afhænger af planten og driftsformen; kan være både stor og lille
Ukendte effekter	Ukendt	Mindre forbrug af arbejdskraft og energi	Stor

Brug af ukrudtsmidler i landbruget

Tab	Sandsynlighed for tab	Gevinst	Sandsynlighed for gevinst
Sundhedsfare for forbrugerne	Meget lille	Driftsikker produktion af afgrøder	Stor
Fare for sprøjteføreren	Lille	Mindre forbrug af arbejdskraft og energi	Stor
Forurening af omgivelserne	Stor		
Pesticidrester i levnedsmidler og vand	Stor		
Tab af biodiversitet (vilde planter)	Stor		
Effekter på fødekæder	Stor		
Ukendte effekter	Lille		

med større usikkerhed end en direkte måling, men vil i mange tilfælde være tilstrækkelig god til en risikovurdering. Eksperterne kan jo også bare gå ud og måle, hvis de vil tjekke resultatet.

I mange tilfælde vil det være meget dyrt at gå ud og måle. Det gælder fx, hvis eksperterne vil kende koncentrationen af dioxiner i hvedeplanter, som vokser på marken. I sådanne tilfælde kan eksperterne vælge at bruge udenlandske resultater, som antageligt ligger på samme niveau som det, de ville finde i en evt. dansk undersøgelse. Her ved eksperterne ikke, hvad danske hvedeplanter faktisk indeholder af dioxiner. Usikkerheden er her endnu større end i en modelberegning, men eksperterne kan stadig bare gå ud og måle, hvis nogen vil betale for at tjekke resultatet.

I nogle tilfælde kan undersøgelser vise stik modsatte resultater. Fx kan nogle undersøgelser vise, at et givet stof er giftigt for pattedyr, mens andre undersøgelser viser, at det ikke er tilfældet. Hvis begge grupper af undersøgelser er udført korrekt, kan eksperterne ikke afgøre, hvilken der er den rigtige, men de får et udtryk for usikkerheden. I sådanne tilfælde, hvor usikkerheden er stor, vil eksperterne som regel være forsigtige og antage, at det værste tilfælde er gældende (*realistic worst case*). De kan herefter reducere usikkerheden ved at udføre yderligere undersøgelser.

I mange tilfælde er vores viden slet ikke til stede. En effekt er måske målt, men endnu ikke fortolket eller forudsagt teoretisk. Et eksempel herpå er de hormonlignende effekter af kemiske stoffer. Før erkendelsen dukkede op i 1996, var der ingen, som regnede med denne særlige effekt af kemiske stoffer. Set i bakspejlet kunne eksperterne have forudset det tidligere. Fx har to forskere allerede i 1950 beskrevet, at DDT og dets omdannelsesprodukter kunne påvirke hormonbalancen hos fugle. Sådanne *oversete* effekter giver naturligvis betydelig usikkerhed i vurderingen af en risiko.



FOTO: KLAUS HOLSTING

Der er altid måleusikkerhed på kemiske bestemmelser.

Der findes processer og fænomener, som ikke kan beregnes direkte. Om sådanne fænomener bruger eksperterne det engelske fagudtryk *indeterminacy*, dvs. ubestemthed. Et eksempel herpå er den umulige opgave at lave en nøjagtig vejrudsigt for en dag, der ligger 30 dage ude i fremtiden. Her kommer videnskaben umiddelbart til kort. Et andet eksempel er økosystemer i naturen, som er så komplicerede, at det er umuligt at forudsige, hvorledes de vil udvikle sig. Eksperterne kan kun lave nogenlunde nøjagtige modeller for visse dele af økosystemerne, idet økosystemerne også er afhængige af vejret, som ikke kan forudsiges. Modellernes forudsigelser er derfor ofte behæftet med stor usikkerhed.

Et tredje eksempel på den usikkerhed, der knytter sig til ubestemthed, er menneskets sociale og politiske adfærd i fremtiden, ikke mindst fordi menneskets adfærd og samfundets reaktionsmønstre i denne sammenhæng ikke er målrettede og er uforudsigelige. Sociale, økonomiske og kulturelle forhold bidrager takket være deres dynamiske karakter til at øge usikkerheden om fremtidige begivenheder og deres konsekvenser. Hertil kommer de teknologiske overraskelser, som synes at vokse i antal med samfundets udvikling.

Findes der en bagatelgrænse?

Kemiske stoffer virker giftigere, jo større koncentrationen bliver. For de fleste stoffer er der et niveau, hvorunder giftvirkningen kan tales eller måske helt ophører med at gøre sig gældende. Først et godt stykke under dette niveau kan man tale om en bagatelgrænse. Nogle organismer kan tåle bestemte kemiske stoffer bedre end andre. Det kan de bruge i deres kamp for at overleve. Ved havet vokser planter, som kan tåle salt (natriumchlorid). Natriumionen er giftig for de fleste planter. Klitternes flora er tilpasset de særlige forhold med salt, sand og kraftig vind. Den vil ikke kunne trives inde i landet, hvor den ville blive udkonkurreret af en vegetation, som på den anden side ikke ville kunne overleve i klitterne. En enkelt art, som trives i sandet, saltholdig jord, har fundet et nyt levested inde i landet. Det drejer sig om engelskgræs. Om sommeren kanter dens lyserøde blomster mange veje. Det skyldes, at vejene saltes og at vejrabatten består af grus.

I nogle egne af Danmark er der et relativt højt naturligt indhold af tungmetaller i jorden. Det gælder i udpræget grad i mineområder i udlandet. Her har flora og fauna tilvænet sig forholdene. Når eksperterne skal bedømme, hvor høje koncentrationer af metaller, der må være i jorden, må de tage hensyn hertil. Tærskelværdien for tungmetallers påvirkning af dyr og planter er således ikke en fast størrelse, men afhænger af den

genetiske tilpasning til den baggrundskoncentration, der findes det pågældende sted. Hvis vand eller jord forurenes med tungmetaller, kan der ved tilstrækkeligt høje koncentrationer blive tale om en giftvirkning, uanset hvilken baggrundsværdi, der er tale om. Når myndighederne fastsætter tærskelværdier for tungmetaller, vil de søge at beskytte følsomme arter i deres økosystemer, men der er ikke tale om bagatelgrænser.

Mennesker lever i et "kunstigt" miljø og får metaller fra mange kilder i vores omgivelser. Eksperterne fastsætter den tolerable, daglige indtagelse af metaller (TDI). Herved nedsættes risikoen for, at forbrugerne, uden at de ved det, indtager skadelige mængder gennem føden, luften og huden. Det gælder især tungmetallerne cadmium, kviksølv og bly, som kun er kendt som skadelige stoffer. På den anden side er mange metaller livsnødvendige for mennesker, dyr og planter, som kan få mangelsygdomme, hvis indtagelsen af disse stoffer er for lille. Det gælder især calcium, magnesium, natrium, kalium, jern, mangan, kobber og zink. Disse metaller skal derfor være til stede i føden i tilstrækkelige mængder. Hvis mennesker får for meget af de livsnødvendige metaller mangan, kobber og zink, vil der opstå en ubalance i kroppen og dermed en giftvirkning.

I modsætning til metallerne kan man fastsætte bagatelgrænser for mange af de miljøfremmede stoffer. Pesticiderne er en broget gruppe af stoffer, som har til formål at slå bestemte organismer ihjel eller at påvirke deres vækst og formering (se Boks 1, side 18). Der er fastsat en grænseværdi på 0,1 mikrogram pr. liter for pesticider i grundvand, som bruges til drikkevand. Denne værdi gælder for alle pesticider. Myndighederne satte i 1980 denne grænse på et så lavt niveau, at det lige netop var muligt at påvise pesticider med datidens målemetoder. Den lave værdi skulle også sikre, at der ikke ville ske skade på mennesker og husdyr, hvis grænsen blev overskredet. Imidlertid findes der moderne

Engelskgræs i midterrabat. Nogle organismer kan tåle høje koncentrationer af kemiske stoffer. Det gælder bl.a. engelskgræs, som kan tåle vejsalt.



FOTO: DMU / HANS LØKKE

insektgifte og ukrudtsmidler, som har dødelig effekt på en række dyr og planter i vandmiljøet, selv ved koncentrationer under 0,1 mikrogram pr. liter. En tærskelværdi på 0,1 mikrogram pr. liter vil derfor ikke beskytte vandmiljøet, hvis der siver grundvand, som er forurenat med disse pesticider, ud i vandløb eller søer. Hertil kommer, at små koncentrationer af mange stoffer kan virke sammen.

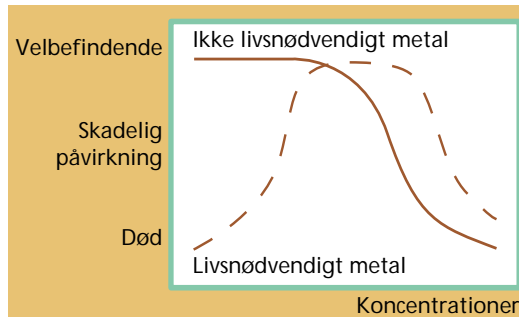
For mange kræftfremkaldende stoffer og stoffer, som ændrer arveanlæggene, kan eksperterne normalt ikke fastsætte en tærskelværdi, hvorunder der ikke forekommer effekter. For den store mængde af kemiske stoffer, som hverken er kræftfremkaldende eller påvirker arveanlæggene, vil de kunne sætte en bagatelgrænse, som kan anses som sikker. Men hvor sikker kan man nu være? Kender eksperterne alle virkninger på alle organismer? Kan et bestemt stof få en ukendt og forstærket virkning, hvis det optræder i blanding med andre stoffer? Hvad er virkningen efter påvirkning i lang tid?

Det er en central opgave for eksperter at vurdere og fastsætte bagatelgrænser og andre former for grænseværdier. Der kan opstå uenighed mellem eksperter om bagatelgrænser og grænseværdier.

Hvordan håndteres risikoen?

Ved risikohåndtering forstås den enkeltes, myndighedernes eller samfundets praktiske tilgang til at løse problemerne eller måske leve med en risiko. I indledningens eksempler med kniven, ulven og benzinen håndterer den enkelte til daglig de risikoer, som brugen af knive og benzin fører med sig, og ulven giver ikke anledning til bekymring i danskernes daglige liv.

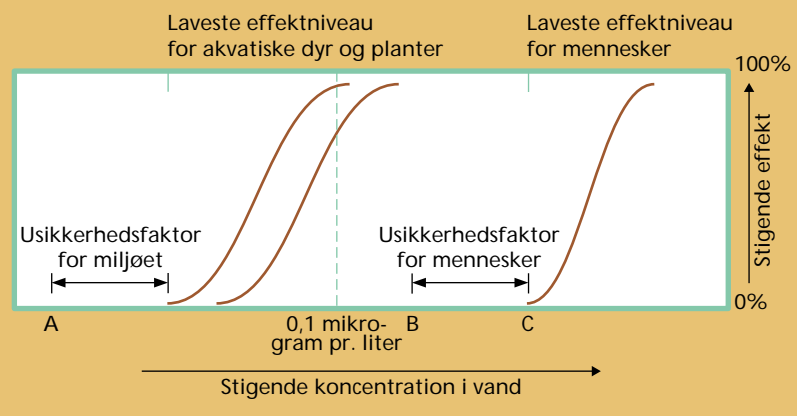
Forskellige apparater og maskiner både i hjemmet og på arbejdspladserne kan være farlige. Derfor stiller myndighederne krav til deres udformning, afskærmninger og lignende. Alle farlige apparater og produkter



Kobber er et eksempel på et livsnødvendigt metal, som skal være tilstede i kosten for ikke at føre til mangelsygdomme. Men hvis der er for meget kobber i kosten, virker metallet som gift.

skal være ledsaget af en brugsvejledning med sikkerhedsregler. Kemiske stoffer skal forsynes med mærkater med sikkerhedsregler. Til disse regler hører en række sikkerhedssætninger og risikosætninger. De beskriver, hvorledes farlige kemiske stoffer og produkter skal håndteres. På mærkaterne er angivet forenkede symboler, som viser om produktet er sundhedsfarligt, ætsende osv.

Planter og dyr i vandmiljøet er mere følsomme over for pesticider end mennesker, som drikker vand. C = laveste effektiveau for mennesker, B = toksikologisk fastsatte nuleffektiveau for mennesker ved anvendelse af en usikkerhedsfaktor. A = økotoxikologisk fastsatte nuleffektiveau for akvatiske organismer ved anvendelse af en usikkerhedsfaktor. 0,1 mikrogram pr. liter = drikkevandsdirektivets grænseværdi for pesticider.



Som et eksempel på en meget kompliceret risikohåndtering kan nævnes de omfattende regler, som gælder for pesticider (Miljøstyrelsen, 1999). Pesticider er en fællesbetegnelse for meget forskellige kemiske stoffer, der bruges til at bekæmpe ukrudt, svampe og skadedyr samt til at påvirke væksten af afgrøder som frugt, grøntsager og korn. I Danmark indgår godt 185 aktivstoffer i ca. 960 godkendte midler. Samfundet accepterer, at disse stoffer bruges som hjælpstoffer i produktionen af bl.a. levnedsmidler. Denne accept indebærer, at der kan være rester af pesticider i fødevarerne. Der er regler for godkendelse, salg og anvendelse. Hvordan skal forbrugerne bedst vægte fordele og ulemper? Debatten foregår til stadighed i samfundet, hvor spektret af meninger rækker lige fra et grønt Danmark fri for pesticider af enhver art til et Danmark,

hvor pesticider frit kan bruges. Skal myndighederne stoppe brugen af pesticider med de problemer, der måtte følge med mindre produktion og ændret kvalitet af fødevarer, dårligere økonomi og ændringer i samfundet? Eller skal myndighederne lade den effektive produktion florere med den risiko, der er forbundet med uoverskuelige skader på miljøet og for, at forbrugerne bliver udsat for rester af giftige pesticider i kosten og drikkevandet? Myndighederne står for at vurdere og tage stilling til, hvilke konsekvenser den aktuelle politik har for menneskers indtagelse af pesticidrester og for pesticiders påvirkning af naturen og miljøet. Den gældende regulering af pesticider sigter mod en håndtering af pesticiderne, således at risikoen for miljøet og sundheden er så lille som mulig under afvejning af hensynet til jordbrugets indtjening og konkurrenceevne.

Kemiske stoffer bliver mærket og på emballagen beskrives risikoen og regler for sikkerheden.



Lokalirriterende



Sundhedsskadelig



Brandnærende



Meget brandfarlig



Yderst brandfarlig



Meget giftig



Giftig



Miljøfarlig



Ætsende

Eksempler på risikovurdering

I det følgende vil en række eksempler fra hverdagen illustrere, hvordan eksperter og myndigheder i dag beskæftiger sig med risikoer.

Eksemplerne viser, hvor langt naturvidenskaben kan komme med at beskrive risikoer, således at myndighederne kan handle. Det drejer sig om følgende emner:

- Pesticider i fødevarer og drikkevand
- Gensplejsede mikroorganismer
- Gensplejsede planter
- Antibiotika-resistente bakterier i miljøet
- Spildevandsslam i landbruget
- Forurenet jord
- Dioxiner i fødevarer
- Partikler fra trafikken

Boks 1 – Pesticider i fødevarer og drikkevand

Brugen af pesticider medfører rester i vore fødevarer. Myndighederne fastsætter maksimalgrænseværdier (MRL) for hvor meget, der maksimalt må være i fødevarer af de enkelte pesticider og deres nedbrydnings- eller omdannelsesprodukter. Maksimalgrænseværdierne bliver fastsat under hensyntagen til:

- Betydningen for sundheden.
- Pesticiders anvendelse i erhvervene, herunder behovet for at sprøjte.

Pesticider godkendes på basis af en lang række undersøgelser for blandt andet giftvirkning på mennesker og natur (Miljøstyrelsen, 1999). Deres virkning på sundheden vurderes ud fra data fra et stort antal og mange typer af undersøgelser af giftvirkningen. Det er afgørende for en godkendelse af pesticider, at grænseværdierne giver en beskyttelse af befolkningens sundhed.

Drikkevand kunne blive vurderet på samme måde som fødevarer med hovedvægten på sundheden. Imidlertid ønsker samfundet ikke pesticidrester i drikkevand. Myndighederne har derfor fastsat en hygiejnisk baseret, fast,

generel lav grænse på 0,1 mikrogram pesticid pr. liter for hvert enkelt stof og 0,5 mikrogram pr. liter for summen af stofferne. Dette niveau er betydeligt lavere end det, der svarer til en fastsættelse af MRL for fødevarer.

God landbrugsmæssig praksis

Det er centralt for godkendelsen af pesticider i landbruget, at der anvendes “god landbrugsmæssig praksis” (GAP, Good Agricultural Practice). GAP defineres som “de nationalt autoriserede sikre brugsmetoder for pesticidet, som under aktuelle klimatiske betingelser er nødvendige for effektiv bekæmpelse af skadevoldere”. Det er en forudsætning, at sprøjteresterne ikke er skadelige for sundheden. GAP fastlægges gennem kontrollerede forsøg, hvor afgrøden behandles med kendte mængder af et pesticid under veldefinerede og beskrevne forhold, der svarer til de omstændigheder, som ønskes benyttet i praksis. Pesticidet skal endvidere være anvendt på en sådan måde, at der efterlades mindst muligt restindhold i afgrøderne. I forsøgene bestemmes restindholdet af pesticidet til forskellige tider efter behandlingen. Som en forudsætning for, at bestemmelsen af



FOTOS: DMU / HANS LØKKE



restindhold kan foretages på tilfredsstillende måde, skal det være kendt, hvorledes pesticidet omdannes og nedbrydes i planter og dyr (metabolismeundersøgelser), så både det aktive stof og eventuelle metabolitter er medtaget i analysen. Det kræves desuden, at der skal findes egnede, følsomme kemiske metoder til at analysere pesticidresterne med.

Resultaterne fra de forskellige forsøg bruges til at udarbejde maksimalgrænseværdier for det pågældende pesticid. Foreligger der ikke et tilstrækkeligt antal forsøg, dvs. normalt 8 forsøg for hovedafgrøderne og 4 for afgrøder, som dækker mindre arealer, fastsættes ingen grænseværdi, og stoffet kan ikke anvendes. Det er vigtigt at bemærke, at maksimalgrænseværdierne ikke sættes højere end nødvendigt ifølge GAP, selv om der uden betydning for forbrugernes sundhed kunne accepteres et større indhold.

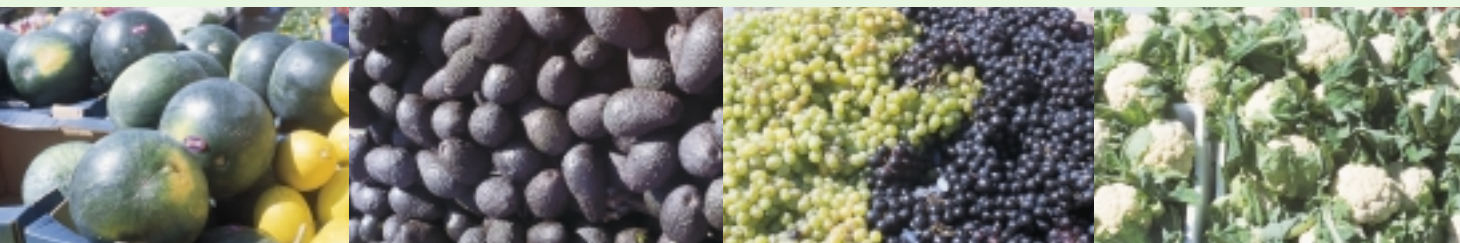
Hverken myndigheder eller borgerne accepterer, at pesticider siver ned i jorden og forurener grundvandet. Når myndighederne godkender pesticider, skal der derfor foreligge data, som viser, om grundvandet forurenes. Der er dog problemer med flere gamle stoffer, som blev godkendt inden reglerne blev strammet. Selv om disse stoffer i dag er forbudt eller deres anvendelse er pålagt restriktioner, bliver de stadig fundet i grundvandsprøver, fordi det tager mange år, før de når ned i de dybe jordlag.

Den acceptable daglige indtagelse

Den mængde af et pesticid, som et menneske dagligt kan indtage gennem et helt liv uden

risiko, betegnes ADI (Acceptable Daily Intake). ADI fastlægges på grundlag af den samlede viden om stoffet, herunder toksikologiske egenskaber. Disse data stammer for en stor dels vedkommende fra forsøg med dyr. Der er opmærksomhed på en hvilken som helst skadelig effekt, herunder kroniske skader som kræft og nedsat frugtbarhed. Der kan ikke fastsættes en ADI for stoffer, som kan give kræft eller skade frugtbarheden. Sådanne stoffer bliver ikke godkendt. Hvis der findes oplysninger om pesticiders eller deres omdannelsesprodukters virkning på mennesker, fx fra medicinsk anvendelse eller fra uheld, inddrages denne viden i vurderingen. Ud fra de toksikologiske undersøgelser bestemmes den højeste dosis, der ikke giver påviselig skadelig effekt i den mest følsomme dyreart, NOAEL (No Observed Adverse Effect Level). ADI fremkommer ved at dividere NOAEL -værdien med en usikkerhedsfaktor, normalt på 100 eller mere. Det er værd at bemærke, at ADI ikke er en grænseværdi eller en faregrænse. ADI er et udtryk for, hvad forbrugeren med stor sikkerhed dagligt kan indtage hele livet igennem uden risiko. ADI fastlægges af eksperter i pesticiders anvendelse og toksikologiske egenskaber, og i både national og international sammenhæng er FAO/WHO's Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) af størst betydning.

Visse pesticider er akut giftige. Det vil sige, at en giftvirkning ofte viser sig hurtigt efter blot en enkelt eller få ganges kontakt med stoffet. For disse pesticider er der udover en ADI fastsat en akut referencedosis (ARfD). ARfD fastsættes efter de samme principper som



FOTOS: DMU / HANS LØKKE

ADI på basis af NOAEL for akutte effekter. ARfD angiver den mængde af et pesticid, som forbrugerne uden risiko for sundheden kan indtage over kort tid, fx ved indtagelsen af et måltid mad uden risiko.

Kostundersøgelser

Myndighederne og eksperter undersøger, hvor meget pesticid forbrugerne indtager med kosten og beregner den teoretiske maksimale daglige indtagelse (TMDI) af de enkelte pesticider. Det antages, at alle afgrøder, som pesticidet må anvendes til, indeholder den maksimalt tilladte mængde af pesticidet. På basis af ADI og indtagelsen vurderer eksperterne virkningen på sundheden (levnedsmiddeltoksikologisk vurdering). Der findes dog ingen generel national eller international vedtaget fremgangsmåde til at vurdere virkningen, når der optræder rester af flere pesticider samtidigt. På basis af videnskabelige undersøgelser foregår vurderingen i Danmark ved at lægge pesticidernes virkning

sammen (additiv effekt). Hvis der er forskellige rester af flere forskellige pesticider i den samme afgrøde, fx gulerødder, antager eksperterne, at de samlede pesticidrester har samme giftighed, som havde de været de mest giftige af de fundne pesticider.

For drikkevand baseres indtagelsen på, at en 60 kg person dagligt indtager 2 liter vand, og i øvrigt gør eksperterne sig de samme overvejelser som for levnedsmidler, hvis der er flere forskellige pesticider i vandet.

Virker risikovurderingen og kontrollen?

Tabel 3 viser situationen for overskridelsen af grænseværdierne (MRL). Pesticider godkendes til brug i bestemte afgrøder. I nogle tilfælde kan en producent finde på at bruge midlet til en afgrøde, hvor det ikke er godkendt, og hvor der derfor ikke findes en MRL. Der kan også være tale om stoffer, som ikke har været vurderet i udlandet eller i

Tabel 3.

Niveauet af pesticidrester i vores levnedsmidler undersøges løbende for at vurdere, hvor meget forbrugerne indtager gennem kosten. Der bliver undersøgt for ca. 150 pesticider og nedbrydningsprodukter. I 1998 var stikprøveantallet 2330 fordelt med 1343 udenlandske prøver og 987 danske.

	Antal stikprøver	Fund i %		
		Frugt	Grønt	Korn
Danske fødevarer	987	32%	7%	3%
Heraf overskridelser af Maksimalgrænseværdier		4%	1%	0%
Udenlandske fødevarer	1343	59%	23%	13%
Heraf overskridelser af Maksimalgrænseværdier		3%	3%	0%

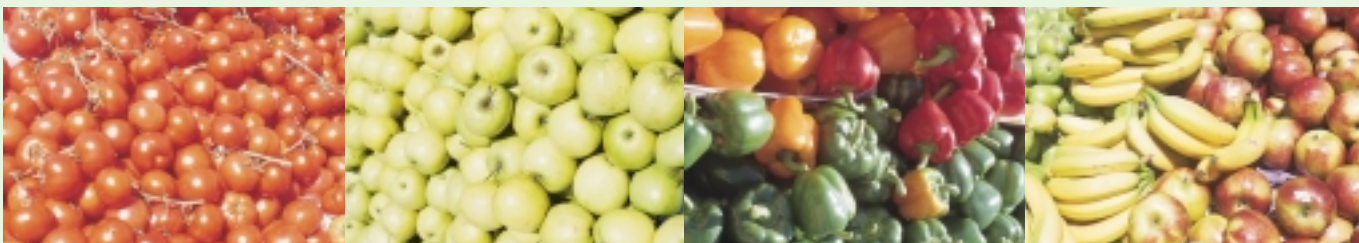
Danmark. I disse tilfælde, hvor der ikke er en MRL, vurderer eksperterne de data for stoffernes giftighed, som findes, og sammenholder med, hvor meget forbrugerne spiser af den pågældende fødevarer. Der er altså tale om en vurdering fra sag til sag. Der er særlige problemer med de nu forbudte chlorholdige pesticider såsom hexachlorbenzen og dieldrin. Eksperterne vurderer, at gentagne fund ikke er acceptable, da disse stoffer ophobes i organismen.

I en nylig opgørelse over indtagelsen af pesticider gennem kosten angives, at danskernes gennemsnitlige indtagelse af pesticidrester er på ca. 200 mikrogram pesticid pr. dag. Ligeledes viser beregninger, at den gennemsnitlige belastning med de enkelte stoffer typisk udgør omkring 1% eller mindre af ADI.

Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet overvåges også. I det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet (NOVA 2003) indgår 45 pesticider og nedbrydningsprodukter. Hidtil har vandværkerne boringskontrol omfattet 8 udvalgte pesticider, og der er fundet rester i 9,5% af analyserne. I 2% af tilfældene var der en

overskridelse af grænseværdien for drikkevand på 0,1 mikrogram pr. liter. I ingen tilfælde, selv hvor overskridelsen af grænseværdien er stor, er der tale om en overskridelse af ADI.

De mange undersøgelser viser, at der ikke findes rester i fødevarer og drikkevand, som kan udgøre en risiko for sundheden. Den risikovurdering, der foretages for pesticiderne, har resulteret i, at der er kontrol over situationen med en høj grad af fødevarsikkerhed med hensyn til rester af pesticider. Dog kan forbrugerne altid stille spørgsmålet, om de toksikologiske undersøgelsesmetoder er tilstrækkeligt gode eller om antallet af analyser burde udvides. Tillige er forholdet det, at der kan mangle undersøgelsesdata fra en række nedbrydningsprodukter af pesticider i fx jord, og at den fulde viden om evt. problemer vedrørende samtidig eksponering for flere stoffer mangler. Ligeegyldigt hvor meget, der forskes, vil eksperterne dog aldrig kunne opnå en 100% afklaring. Hvis forbrugerne ønsker en nul-risiko fra eksponering for pesticider, kan en sådan kun opnås ved at ophøre med brugen af disse.



Boks 2 – Gensplejsede mikroorganismer

Siden midten af 1980'erne har den bioteknologiske industri benyttet gensplejsede mikroorganismer til produktion af lægemidler og enzymer, og teknologien har siden udviklet sig hastigt. Der er nu omkring 50 forskellige produkter, som produceres i Danmark ved hjælp af gensplejsede mikroorganismer. Danmark fik verdens første særlige lovgivning om miljø og genteknologi. Derfor er alle produktioner med gensplejsede mikroorganismer vurderet for at mindske risikoen for mennesker og miljø.

Vurderingen af risikoen af gensplejsede mikroorganismer for miljøet tager udgangspunkt i fire forskellige forhold:

- Mikroorganismens udslip fra produktionsanlægget til miljøet.
- Mikroorganismens muligheder for at overleve i miljøet.
- Mikroorganismens muligheder for at påvirke miljøet.
- Mulighederne for spredning af de indsplejsede nye genetiske egenskaber fra mikroorganismen til andre mikroorganismer.

Ud fra viden om udledningen fra produktionsanlægget og mikroorganismernes forudsigede sandsynlighed for, at de overlever, etablerer sig og påvirker miljøet. Som regel sammenlignes de med ikke-gensplejsede mikroorganismer, som i øvrigt er identiske med de gensplejsede.

Produktion af enzymet lipase ved hjælp af en gensplejset mikrosvamp

Svampen *Aspergillus oryzae* er et eksempel på en gensplejset mikroorganisme, som den bioteknologiske industri anvender til produktion af enzymer. Svampen producerer enzymet lipase, der kan nedbryde fedt. Lipase anvendes i udstrakt grad i vaskemidler, hvor det medvirker til fjernelse af fedtpletter.

Aspergillus oryzae har i århundreder været anvendt til produktion af Tamari (soyasauce) i Japan, men den findes ikke naturligt i Danmark. Svampen vokser bedst ved temperaturer omkring 35°C, og slet ikke ved temperaturer, der er lavere end 23°C. De stammer af svampen, der bruges i produktionen, danner ikke sporer, som ellers er svampes overlevelsesorganer under ugunstige omstændigheder.

Ved gensplejsning indføres et gen i svampens arvmasse, således at den kan producere en særlig varmestabil variant af enzymet, som spalter fedtstoffet lipase. Dette gen stammer fra en anden mikroorganisme. Desuden indsættes et gen for antibiotikaresistens, således at svampen kan kendes under dens konstruktion. Genet for antibiotikaresistens bliver dog ikke udtrykt i organismen, som derfor ikke selv er antibiotikaresistent. Det får svampen ikke nogen fordel af, for selv i fedtholdige miljøer klarer den gensplejsede *Aspergillus* sig ikke bedre end dens ikke-gensplejsede stamform.

Fabrik

Den bioteknologiske produktion af enzymer foregår i to trin. Først bliver mikroorganismene dyrket i en tank, der kan være fra nogle få til 100 m³ stor. Væsken kan indeholde op til 10 milliarder mikroorganismer pr. milliliter. Under dyrkningen producerer mikroorganismen enzymet. Derefter tømmes produktionstanken og enzymerne adskilles fra mikroorganismene og opkoncentreres. Under disse processer bliver der fra de fleste produktionsanlæg udledt mikroorganismer til miljøet.

Luft – 100 km pr. liter luft

Under dyrkningen bliver der pumpet luft igennem dyrkningstanken. Luften bliver udledt til omgivelserne igennem en skorsten. Undersøgelser har vist, at denne luft kan indeholde op til 100.000 mikroorganismer pr. m³ luft. Risikovurderingen af den gensplejsede *Aspergillus oryzae* forudsiger, at denne udledning vil medføre, at kun ganske få levende mikroorganismer vil lande på jorden. De allerfleste vil dø på grund af udtørring og UV-lys i luften. De få mikroorganismer, der lander på jorden, vil dø i løbet af kort tid, bl.a. fordi deres overlevelse og vækst kræver temperaturer over 23°C, hvilket kun vil være opfyldt i ganske korte perioder i Danmark.

Spildevand – 10.000 km pr. milliliter

Fra produktionen bliver der udledt spildevand, som kan indeholde op til 10.000 mikroorganismer pr. milliliter. Spildevandet passerer et biologisk rensningsanlæg før det udledes til det marine miljø. Risikovurderingen forudsiger, at kun ganske få levende mikroorganismer bliver udledt til havet. Det biologiske rensningsanlæg vil nemlig fjerne hovedparten af organismene, og resten vil ikke kunne klare den lave temperatur i vandet. Havet er ikke det naturlige hjemsted for mikroorganismen, og den har ikke nogen overlevelsesmuligheder dér.

Slam – 0 km pr. gram

I fabrikken udskilles enzymet til en væske, og mikroorganismene bliver tilbage som slam. Slammet bliver behandlet ved tilsætning af kalk og opvarmning til 90°C. Undersøgelser har vist, at alle mikroorganismene bliver slået ihjel ved denne behandling. Det behandlede slam bliver herefter udbragt på marker, hvor det har en gødningseffekt. Hidtil har eksperterne vurderet, at når mikroorganismene blev slået ihjel, så kunne slammet anvendes til gødning uden risiko for miljøet. De ved dog nu, at selv om mikroorganismene bliver dræbt ved behandlingen, så forbliver arveanlæggene stort set intakte. Eksperterne kan ikke afvise, at der kan ske en overførsel af arveanlæg fra de inaktiverede mikroorganismer til mikroorganismene i jorden. Men det vil sandsynligvis kun ske i uhyre få tilfælde og vil ikke være forbundet med risiko for miljø og sundhed, idet lipase-genet i forvejen er vidt udbredt i naturen.

Egenkontrol

Risikovurderingen af *Aspergillus oryzae* til produktion af lipase forudsiger, at skønt der udledes mikroorganismer fra produktionen til miljøet, så er det ikke sandsynligt, at de etablerer sig og giver effekter i miljøet. Der bliver foretaget en løbende kontrol af udled-

ningen af mikroorganismer med luft, i spildevand og slam. Hidtil har den foretagne kontrol været i overensstemmelse med risikovurderingen. Der er også blevet gennemført forsøg på at finde *Aspergillus oryzae* i det omgivende miljø, men hidtil har eksperterne ikke været i stand til at finde en eneste.

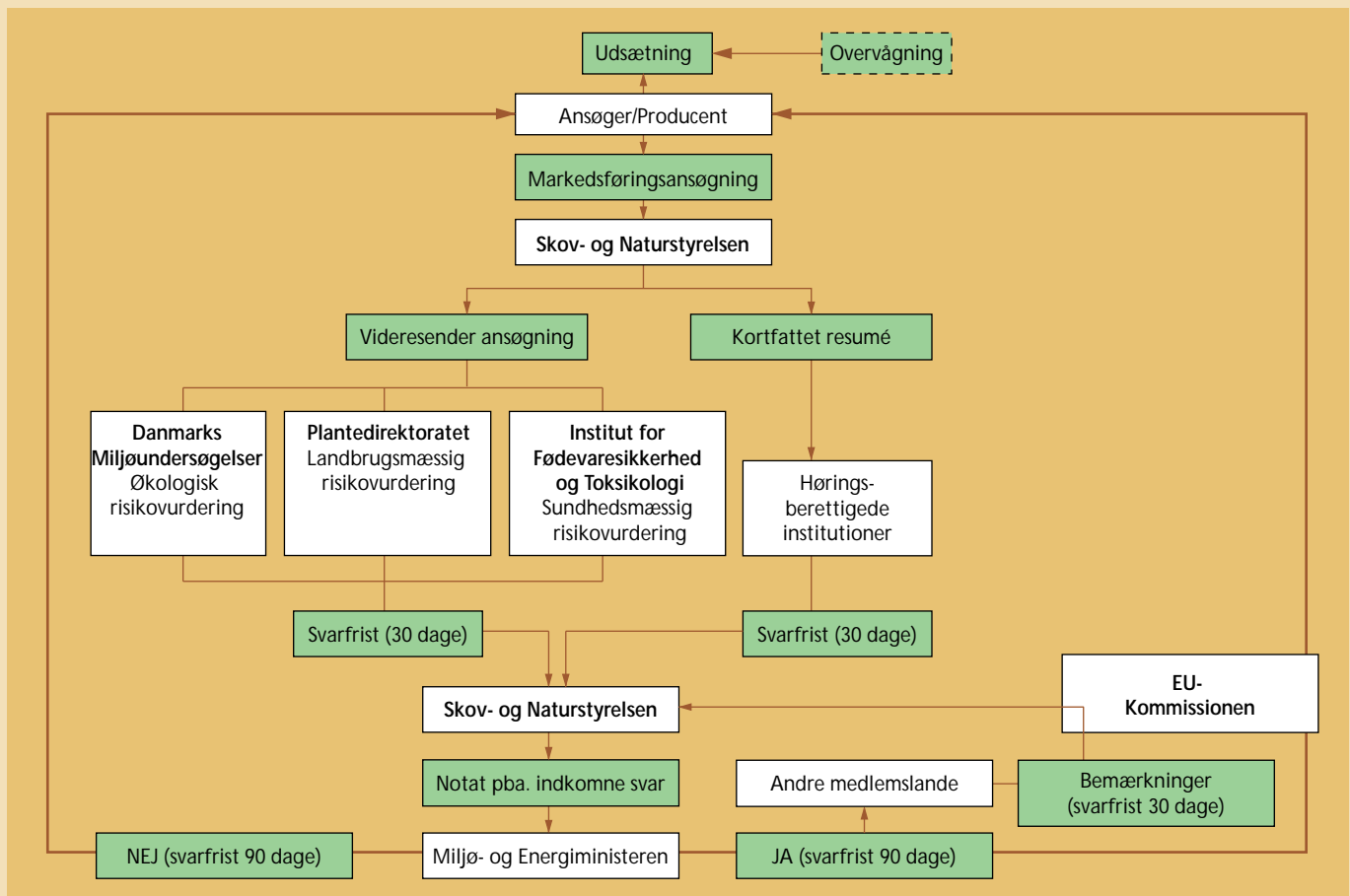
Boks 3 – Gensplejsede planter

Forløbet af sagsbehandlingen efter direktiv 90/220/EØF ved en markedsføringsansøgning i Danmark. Overvågning, vist med stiplede signatur, forventes indføjet i direktivet ved den gangværende revision.

Fra sag til sag og familiaritetsprincippet

Risikovurderingen af gensplejsede planter foretages fra sag til sag. Det vil sige, at hver ny sag med en gensplejset plante skal betragtes for sig selv. Planterne sammenlignes med den samme plantesort, som ikke er gensplejset (familiaritetsprincippet). Det er her vigtigt med oplysninger om det indsatte

eller ændrede gen og dets egenskaber, fx herbicidresistens eller ændrede indhold af kemiske stoffer. Samtidig er det nødvendigt at kende modtagerplanten og dens livscyklus og økologiske krav. Det betyder, at tidligere erfaringer med planten eller med det indsatte gen kan bruges til en kvalitativ risikovurdering af den gensplejsede plante. En sådan kvalitativ vurdering vil i nogle tilfælde være tilstrækkelig. Hvis den deri-



mod påpeger eventuelle farer, skal der udføres flere og nøjere undersøgelser af faren eller sandsynligheden for, at hændelsen kan indtræffe.

Fra laboratorium til mark og forbruger

Udsætning af gensplejsede planter skal ifølge Lov om Miljø og Genteknologi foregå trinvist. Det betyder, at hvert enkelt trin skal vurderes særskilt: Fra udviklingen i laboratoriet og frem til at landmanden kan købe frøene og dyrke planterne på sin mark, og videre til at forbrugeren kan købe gensplejsede levnedsmidler. De første undersøgelser foretages i pollentætte klimakamre og væksthuse. Et af de vigtige tidspunkter er, når planten skal ud af væksthuset. På dette tidspunkt skal der søges om tilladelse til forsøgsudsætning. Hvis der gives tilladelse, udføres forsøg i marken i små kontrollerede forsøgsparcer. Disse er ofte omgivet af et bælte af ikke-gensplejsede planter. Dette gør, at risikoen for spredning af pollen mindskes. Senere afprøves planterne under mere realistiske forhold. Ideen med den trinvis udsætning er "at pakke planten langsomt ud" og gradvist få mere og mere at vide.

Sagsbehandling

Når en virksomhed ønsker at markedsføre gensplejsede planter i et EU-land, skal der sendes en ansøgning til myndighederne i det pågældende land. I EU's direktiv om udsætning af gensplejsede organismer (90/220/EØF) er kravene til ansøgningen beskrevet. Alle medlemslande i EU bliver underrettet og spurgt. Det skyldes, at en godkendelse betyder tilladelse til markedsføring inden for hele EU. Ansøgningen gennemgår en grundig risikovurdering i det land, hvor den er indgivet. Ansøgningen kan blive afvist eller sendt videre til EU-kommissionen med en positiv indstilling. Herefter forelægges ansøgning og indstilling for de øvrige medlemslande til kommentering. Hvis ingen

Hvad omfatter en risikovurdering?

Ved risikovurderingen sammenlignes den gensplejsede plante med den tilsvarende ikke-gensplejsede plante bl.a. med hensyn til:

Risiko for miljøet:

- planten invaderer naturlige økosystemer
- de indsatte gener spredes til vilde slægtninge
- påvirkning eller ændring af naturlige økosystemer
- effekter på ikke-skadevoldende organismer i marken

Risiko for landbruget:

- planten selv eller nært beslægtede arter, der modtager gener ved krydsning, bliver besværlige ukrudtsarter i marken

Risiko for sundheden:

- indhold af giftige eller allergifremkaldende stoffer
- ændret næringsindhold

af de øvrige medlemslande gør indsigelser, kan den gensplejsede plante umiddelbart godkendes. Hvis bare ét af landene har indvendinger, skal sagen afgøres ved en flertalsafstemning blandt medlemslandene (Danmark har 3 stemmer ud af 87 stemmer). En revision af udsætningsdirektivet blev påbegyndt i 1997 og er stadig undervejs. Det nye direktiv vil bl.a. indeholde retningslinjer for overvågning af gensplejsede planter, når de dyrkes kommercielt.



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

Boks 4 – Antibiotika-resistente bakterier i miljøet

Antibiotika bruges til bekæmpelse af sygdomme hos mennesker og dyr. Nogle typer antibiotika kan også bruges til at fremme væksten hos dyr, hvis det blandes i foderet som *vækstfremmer*. Det store forbrug af antibiotika til mennesker og husdyr har bevirket, at antallet af stammer og individer af resistente bakterier er steget kraftigt de senere år. Da også de sygdomsfremkaldende bakterier har udviklet resistens, kan det påvirke mulighederne for i fremtiden at bekæmpe bakterieinfektioner. De første dødsfald som følge af multiresistente bakterier er allerede indtruffet.

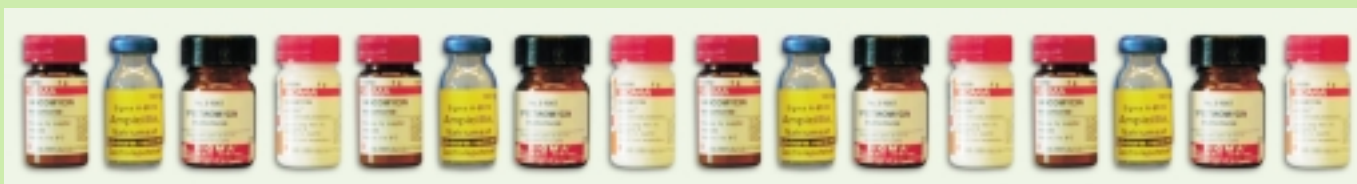
Myndighederne foretager ikke en egentlig risikovurdering af antibiotika-resistente bakterier på samme måde som for de gensplejsede mikroorganismer (se Boks 2). For i modsætning til disse finder der nemlig ikke en produktion af resistente bakterier sted i gæringstanke. Med hensyn til godkendelse af nye antibiotika skal producenten imidlertid fremvise dokumentation for, at risikoen for udvikling af resistens ved brug af antibiotikummet er lille. I disse overvejelser indgår også, om det pågældende antibiotikum kan fremkalde krydsresistens, dvs. om bakterier, som evt. udvikler resistens over for det pågældende antibiotikum, samtidig bliver

resistente over for andre kemisk beslægtede antibiotika. Som et eksempel på en sådan krydsresistens er resistens over for vækstfremmeren Avoparcin og resistens over for Vancomycin, der bruges som en af de sidste udveje til bekæmpelse af multiresistente bakterier hos mennesker. På grund af denne krydsresistens blev brugen af Avoparcin således forbudt i Danmark i 1995.

Hvordan opstår resistente bakterier?

Antibiotika-resistens findes i naturen. Resistente bakterier har altid eksisteret. Også før man i 1940'erne begyndte at anvende antibiotika til sygdomsbekæmpelse eller som vækstfremmere i landbruget.

I naturen findes en lang række mikroorganismer, som producerer antibiotika. Det gælder for eksempel de svampelignende bakterier, actinomyceterne, og en lang række mikrosvampe. De producerer antibiotika som kampstoffer i konkurrencen med de øvrige mikroorganismer. Det berømteste eksempel på sådan en mikrosvamp er *Penicillium chrysogenum*, som producerer penicillin. For at mikroorganismene ikke skal dø af deres egen antibiotika, har de udviklet såkaldte "selvresistensgener". Man





mener, at langt de fleste resistenser i de sygdomsfremkaldende bakterier stammer fra disse "selvresistensgener", og at de er overført ved den såkaldte plasmidoverførsel. Resistensgener sidder nemlig ofte på plasmider, der er små ringformede stykker arvemateriale.

Vurdering af risikoen for miljø og sundhed

Der foregår en stor forsknings- og overvågningsindsats for at opbygge viden om problemets omfang og mulighederne for at begrænse den fortsatte stigning i antallet af de resistente bakterier.

Nogle af de spørgsmål, forskerne er interesseret i at få besvaret, er:

- Kan resistens fra naturligt forekommende bakterier i jorden spredes til sygdomsfremkaldende bakterier udledt med gylle og slam?
- Under hvilke miljø- og vækstforhold er spredning af resistensplasmider mellem bakterier i miljøet mulig?
- Kan rester af antibiotika i miljøet give de resistente bakterier en fordel, så de blomstrer op?
- Findes der resistente bakterier i/på fødevarer, og i hvor stor udstrækning kan deres resistensgener spredes til andre bakterier i fødevarerne?
- Kan resistente bakterier i naturen eller på fødevarer sprede deres resistensgener til sygdomsfremkaldende bakterier i mave-tarmkanalen?

Ekspertene kræver en masse viden om mikroorganismernes og genernes økologi for

at kunne vurdere risikoen for sundheden. Med hensyn til eventuelle effekter på miljøet anses risikoen for, at vigtige balancer i naturen påvirkes som resultat af spredningen af resistensgener, at være uhyre minimal. Den væsentligste begrundelse er, at resistensgenerne alligevel forekommer naturligt og udbredt i miljøet.

Hvad kan man gøre for at forebygge resistensudvikling?

Hvis udvikling af resistens skal begrænses, kræver det en restriktiv brug af antibiotika. Fra 1997 til 1999 faldt forbruget af vækstfremmere til husdyr med mere end 50%. Det er et eksempel på, at mere restriktive holdninger er opstået som kombination af frivillig begrænsning og forbud. Da mange tons vækstfremmere årligt har været anvendt i landbruget, vil antallet af resistente bakterier falde med tiden. Men det er også nødvendigt at mindske brugen af de såkaldte bredspektrede antibiotika (antibiotika som rammer mange forskellige typer af bakterier), og ved at lægerne kun udskriver recepter på antibiotika, når de er sikre på, at der er tale om en bakterieinfektion. Endelig er det vigtigt, at man som patient nøje følger lægens vejledning og ikke stopper med behandlingen for tidligt, fordi man derved kan fremelske antibiotika-resistente sygdomsbakterier.

Boks 5 – Spildevandsslam i landbruget

Slam indeholder kemiske stoffer og mikroorganismer, som kan forurene jord og planter. Risikoen ved udbringning af slam som gødning på marker skal derfor belyses nøje, således at der ikke kan sås tvivl om kvaliteten af de fødevarer, som produceres på slamgødte marker. Slammets må heller ikke tilføre tungmetaller og andre miljøfremmede stoffer til afgrøder og videre til kød og mælk fra kvæg, der har græsset på marker, som er gødet med slam. Der må heller ikke ske negative påvirkninger af jordens frugtbarhed på hverken kort eller langt sigt. En række dyr, planter og mikrobielle processer er med til at sikre, at landbrugsjordens næringsstoffer recirkuleres. De må ikke påvirkes i nævneværdig grad. Endelig må giftstoffer i slammets selvfølgelig ikke forurene grundvandet. Og personer, som håndterer slammets, må ikke udsættes for risiko for infektioner.

Brugen af slam er underlagt en særlig bekendtgørelse, som indeholder grænseværdier for tungmetaller og udvalgte organiske, miljøfremmede stoffer, samt jordkvalitetskriterier for tungmetaller. Disse værdier må ikke overskrides. De har til formål at sikre, at afgrøderne og grundvandet ikke forurenes.

Når risikoen ved anvendelse af slam skal vurderes for miljøet, er der en række usikkerheder. Slammets indhold af kemiske stoffer kan påvirke mennesker, dyr, planter

og mikroorganismer. Slammets indhold af næringsstoffer stimulerer dog samtidig mange organismer. Det kan overskygge eventuelle giftpåvirkninger eller forskyde konkurrencen mellem arterne og derved også sammensætningen af arter i jorden. Risikovurderingen af kemiske blandinger som i slam er en stor udfordring for eksperterne. I det følgende illustreres, hvorledes en simpel beregning giver et resultat, som tyder på en risiko for miljøet. Ved at udbygge risikovurderingen med et nyt trin, nemlig forsøg i naturen, kan en mere realistisk vurdering af risikoen blive udført.

Ved et simpelt trick kan virkningen af de enkelte giftige stoffer i en kemiske blanding lægges sammen. Virkningen kan udtrykkes i såkaldte giftenheder (Toxic Units = TU), hvor én TU er lig med den koncentration, som halverer overlevelsen af voksne individer (LC_{50}) eller antallet af unger (EC_{50}). En sådan beregning vil ofte resultere i en høj sum, som svarer til en stor virkning. Der kan laves en generisk risikovurdering for hvert enkelt stof ved at bruge risikobrøken RQ ($RQ = PEC/PNEC$, se side 10). I tabellen er RQ vist for udvalgte giftstoffer. Som PNEC (beregnet nuleffektniveau) er anvendt de danske økotoxikologiske jordkvalitetskriterier, der sigter mod beskyttelse af følsomme arter i jorden. PNEC kan fastsættes ved hjælp af en usikkerhedsfaktor ud fra data for den mest følsomme af de undersøgte arter. Der anvendes en stor usikkerhedsfaktor, hvis der kun

Tabel 4. Den beregnede risikobrøk (RO) for en række organiske stoffer og tungmetaller i slam og jord, når der spredes 6 tons slam (tørstof) pr. hektar. Som PNEC (beregnet nuleffektniveau) er anvendt de danske økotoxikologiske jordkvalitetskriterier, der sigter mod en beskyttelse af følsomme arter. PEC er den beregnede koncentration i miljøet under antagelse af, at slammet blandes ensartet i de øverste 20 cm af jorden. Koncentrationen af stofferne i slam er sat til de gældende grænseværdier eller, hvis der ikke er grænseværdier, de højeste værdier fra en større dansk undersøgelse af 19 renselanlæg. De simple beregninger viser en tilsyneladende høj risiko for jordens organismer, især i og omkring slamklumperne, idet RO skal være mindre end én for at svare til en lille risiko.

Stof	PEC-Jord mg/kg	PEC-Slam mg/kg	PNEC mg/kg	RQ-Jord	RQ-Slam
<i>Organiske stoffer</i>					
LAS (anionisk detergent)	2,6	1300	5,0	0,5	260
Nonylphenol	0,02	10	0,01	2,0	1000
DEHP (phthalat)	0,1	50	1,0	0,1	50
DBP (phthalat)	0,05	26	0,1	0,5	260
PAH (tjærestoffer)	0,01	3,0	1,0	0,1	3
Chlorbenzener	0,0008	0,4	0,001	0,8	400
PCP (pentachlorphenol)	0,00001	0,005	0,001	0,1	5
Andre chlorphenoler	0,0003	0,1	0,01	0,3	10
<i>Metalloider</i>					
Arsen	3,3	20	10	0,3	2
<i>Tungmetaller</i>					
Bly	11,5	120	50	0,2	2,4
Cadmium	0,16	0,4	0,3	0,5	1,3
Kobber	9,0	1000	30	0,3	33
Chrom	10,1	100	50	0,2	2
Kviksølv	0,04	0,8	0,1	0,4	8
Nikkel	5,1	30	10	0,5	3
Zink	34,8	4000	100	0,3	40

er undersøgt én eller nogle få arter. PNEC kan alternativt fastsættes ud fra data for mange arter ved hjælp af statistiske metoder.

Den forsimplede og teoretiske risikovurdering af blandinger, som er vist i Tabel 4, må imidlertid forkastes på baggrund af DMU's egne undersøgelser, der udføres med slam i markforsøg som et højere trin i risikovurderingen. Hertil kommer, at mange af de samme stoffer i forvejen findes i jorden, hvor de er tilført som luftforurening (bl.a. dioxiner, PCB, pesticider og forbrændingsprodukter fra trafikken og energiproduktionen). De

jordlevende organismer er derfor udsat for højere koncentrationer og har formentlig tilpasset sig disse.

Den konkrete risiko over lang tid ved en så kompliceret blanding som spildevandsslam må undersøges i naturen. DMU har således udført forskellige laboratorie- og feltundersøgelser for at vurdere risikoen ved den kemiske cocktail, som spildevandsslam udgør. For eksempel er der gennem fire år på 168 små parceller af hver 90 m² udbragt slam og kvægmøg i fire forskellige doseringer (0, 3, 5, 7 og 21 tons tørstof pr. hektar). På parcel-

lerne er antallet af mikroledyr undersøgt. De var repræsenteret af springhaler og mider. Endvidere blev aktiviteten af de mikroorganismer, som omsætter ammonium til nitrat og nitrit undersøgt. Gennem de første fire år har det ikke været muligt at påvise nogen signifikante negative effekter. Undersøgelser i naturen over længere tid er et vigtigt redskab til at opbygge erfaringer med risikovurderingen af spildevandsslam. Der er imidlertid en række forhold, man skal være opmærksom på. Først og fremmest skal man sikre sig, at det er det rigtige og relevante, man måler. Det er ikke muligt at kortlægge ændringer i antallet af samtlige arter og processer. Det er derfor vigtigt i hvert tilfælde at identificere, hvad det er man ønsker at beskytte eller bevare. Er det en fuldstændig beskyttelse af selv de mest følsomme arter, der er målet, eller er det

primært udvalgte arter og vigtige processer, der har interesse? Det første mål vil ikke kunne nås i landbrugsjord. Der bruger landmanden som regel pesticider og handelsgødning, og der pløjes, harves og drænes. Alle disse aktiviteter ændrer de fysiske-kemiske og biologiske vilkår i jorden. Sammen med valget af afgrøde kan det være med til at ændre fødegrundlaget og konkurrenceforholdene i jordens økosystem. Risikovurderingen af anvendelsen af slam beskæftiger sig med den ekstra påvirkning, som kommer fra slammet. Det er ikke nok kun at se slammets øjeblikkelige påvirkning i forhold til de øvrige påvirkninger fra landbrugsdriften, men også over et langt tidsrum, hvor der evt. kan ske en ophobning af miljøfremmede stoffer i jorden og en videre transport i fødekæderne.

Boks 6 – Forurenede jord

Forurening af jord og grundvand som følge af affaldsdepoter og industrigrunde er et omfattende problem i hele verden. På trods af, at mange af problemerne er af ældre dato, var det først op gennem firserne, at problems omfang rigtigt gik op for miljømyndighederne og offentligheden. Det skete i takt med, at flere og flere forurenede områder blev kortlagt. I starten, hvor antallet af sager syntes få, var det som regel den politiske målsætning, at lokaliteten skulle renses fuldstændigt, ved at alt forurenede jord blev gravet op. Dette var især tilfældet med stærkt forurenede affaldsdepoter som hos Cheminova. Dengang blev den forurenede jord typisk deponeret. Først senere er det blevet almindeligt at rense jorden. I takt med at vurderingen af antallet af forurenede grunde i Danmark er steget fra få hundrede til nu mere end 14.000, har det været nødvendigt at justere målsætningen. Da det ikke er økonomisk realistisk at fjerne og oprense alt forurenede jord i Danmark, er en priorite-

ring og målretning af indsatsen blevet stadig vigtigere. Risikovurdering er et vigtigt redskab i en sådan prioritering. Vurderingen bør i princippet omfatte risikoen for mennesker, miljø og grundvand. Den nye jordlov, som i 1999 afløste tre andre love på området, prioriterer beskyttelsen af menneskets sundhed og grundvandet højt. I praksis er det derimod sjældent, at der i Danmark foretages en økologisk risikovurdering af forurenede grunde.

Mennesket i centrum!

Vurderingen af forurenede jord bygger på to sæt af grænseværdier. Det ene sæt kaldes jordkvalitetskriterier og er fastsat ud fra viden om giftighed for mennesker og giver en høj grad af sikkerhed for, at menneskers sundhed ikke påvirkes. Denne påvirkning kan ske ved direkte kontakt med jorden, ved at spise afgrøder, som er dyrket på jorden, eller ved at drikke forurenede vand. Dampe af

FOTO: DMU / BEATE STRANDBERG



Brakmark, som er forurenede med kobber fra en virksomhed, der imprægnerede træ.

FOTO: ERIK K. JØRGENSEN A/S



Opgravning af tjæreforurenede jord.

forureninger kan også trænge ind i huse. Det andet sæt kaldes afskæringsværdier og anvendes under praktiske forhold, hvor årsagen til risikoen ikke fjernes, og hvor det derfor er nødvendigt, at menneskets kontakt med jorden forebygges på forskellig vis. De sundhedsrelaterede jordkvalitetskriterier fastsættes på baggrund af en vurdering af den kendte viden om giftvirkningen efter kort og efter lang tids påvirkning. På baggrund af disse data, som oftest er baseret på dyreforsøg, fastsættes den maksimale tolerable daglige indtagelse (TDI, se endvidere Boks 1 og Boks 7). Jordkvalitetskriteriet beregnes herefter på baggrund af TDI og viden om den daglige eksponering for forureningen. Børn har typisk langt større indtagelse af jordpartikler, idet de ofte stikker legetøj og fingre i munden eller endda spiser jorden direkte. Kriterierne er fastsat ud fra en række antagelser, fx at et barn vejer 10 kg og dagligt spiser 0,2 gram jord eller i enkelte særtilfælde indtager helt op til 10 gram om dagen.

Håndtering af forurennet jord

Jordloven giver mulighed for en differentieret indsats alt efter hvor forurennet jorden er, og hvad arealet skal bruges til. Således prioriteres indvindingsområder for grundvand samt områder med børnehaver og boligbebyggelse højt. Er der tale om stor risiko på grund af kraftig forurening af områderne, skal der ske en opgravning eller rensning af jorden, mens der i tilfælde med mindre kraftig forurening skal ske andre afværgeforanstaltninger, som nedsætter risikoen. Dette kan ske ved hjælp af oplysning og rådgivning om, hvordan

eksponeringen reduceres. Afskæringsværdierne er generelt 10 gange større end de jordkvalitetskriterier, som er fastsat som sikre for mennesker. For ikke at udsætte de mest følsomme målgrupper, specielt børn, for sundhedsrisiko er det nødvendigt at reducere menneskers kontakt med jorden betragteligt. For eksempel kan det være nødvendigt at lægge fliser eller så græs for at forhindre børns adgang til jorden. Desuden frarådes det, at man i sådanne forurenede områder spiser grøntsager eller frugter, som man selv har dyrket. Der påligger de administrerende myndigheder en stor opgave i at sikre, at rådene efterleves.

Beskyttelse af jordens økosystem

Forurening af jorden stammer også fra spredte kilder, der ikke har direkte tilknytning til det forurenede areal. Denne forurening kan komme fra luften, ved anvendelse af pesticider eller i form af forureninger i gødningsprodukter og jordbrugskalk. Der findes særlige økotoxikologiske jordkvalitetskriterier, som kan bruges til vurdering af den spredte forurening. Disse kriterier er fastsat for udvalgte kemiske stoffer eller blandinger af stoffer og svarer til den beregnede nuleffektverdi (PNEC), som er omtalt i Boks 5. De er baseret på den kendte viden om stoffernes virkning på miljøet, og de sigter mod, at selv følsomme arter i naturlige økosystemer vil være beskyttet. Kriterierne kan også bruges på egentlige forurenede arealer, hvor myndighederne vil sikre, at dyr, planter og mikrobielle processer vil kunne trives efter rensning af jorden.

Boks 7 – Dioxiner i fødevarer

Dioxiner hører til de mest giftige stoffer. De ophobes i menneskers kropsfedt (og lever), hvorfra de kun meget langsomt udskilles igen. Den biologiske halveringstid er 7½ år for den giftigste blandt de i alt flere hundrede beslægtede dioxiner, TCDD. Mange undersøgelser har vist, at det ikke er den daglige indtagelse af dioxiner, der har betydning, men den koncentration, der efter en vis (lang) tid opnås i kroppens målorganer. For dioxinerne anses den totale belastning af kroppen (body burden) for at være det mest velegnede, praktiske mål til at udtrykke "dosis" med. Den daglige indtagelse af de mængder, som forekommer i fødevarer, har derfor kun betydning på langt sigt som følge af denne ophobning. Dioxinerne har med jævne mellemrum været forsidestof i mediernes. Senest i forbindelse med forurenede foderstoffer i Belgien, og danske diskussioner om udslip fra Kommunekemi og Stålvalseværket.

I forbindelse med risikovurderingen af dioxiner er det nødvendigt også at omtale PCB. Den samlede giftighed af de dioxiner og dioxin-lignende PCB-stoffer, der forekommer i fødevarerne, udtrykkes ved hjælp af total-TEQ. Ved beregningen opsummeres

bidragene fra de enkelte giftige dioxiner til total-TEQ, som angiver blandingens samlede giftighed. Bidragene fra de enkelte stoffer omregnes til den mest giftige dioxin, TCDD. Verdenssundhedsorganisationen WHO har i 1997 fastsat procedurer for, hvordan total-TEQ beregnes. Beregningssystemet er konservativt (dvs. forsigtigt) og overvurderer således den samlede giftighed.

Mennesker, som udsættes for høje koncentrationer af dioxiner, fx ved uheld med kemikalier, kan få hudsygdommen chloracne. Der kan også ske påvirkninger af leveren, nervesystemet, immunsystemet og reproduktionssystemet. Børn, som er født af kvinder med megen dioxin i kroppen, kan have en dårligere indlæringssevne og hæmning af kønsorganernes udvikling. I forbindelse med påvirkninger i arbejdsmiljøet og efter ulykkestilfælde er der set svagt øget forekomst af kræft i mennesker som følge af forhøjede kropsbelastninger. De undersøgelser, der foreligger af mennesker med høje dioxinbelastninger som følge af ulykkestilfælde eller udsættelse i arbejdsmiljøet, er ikke anvendelige som baggrund for risikovurdering af de langt lavere indtagelser, som den almindelige befolkning får primært via



fødevarerne. Alle effekterne kan imidlertid eftervises i forsøgsdyr. Det har vist sig, at forsøgsdyr generelt er mere følsomme for dioxin end mennesker. Dyreforsøgene er dog primært foretaget med TCDD og enkelte PCB-stoffer.

I forsøgsdyr ses virkninger ved de laveste koncentrationer, når fostret påvirkes af dioxin via moderen. Virkningen konstateres først, når ungerne er vokset op. Det drejer sig om påvirkning af indlæringssevnen hos abeunger og udviklingen af kønsorganerne hos rotteunger, primært nedsat sædkvalitet. Endvidere er der iagttaget udvikling af endometriose (vækst i bughulen af celler fra livmoderen) hos hunaber belastet med dioxin. Kropsbelastningen i de forsøgsdyr, hvor der ses effekter ved de laveste koncentrationer, ligger ifølge WHO's vurdering i 1998 på mellem 28.000 og 73.000 picogram TCDD pr. kg legemsvægt. Andre giftige effekter, herunder kræftfremmende effekt, kræver væsentligt højere kroppsbelastninger. Ét picogram er 0,000 000 000 001 gram.

Ud fra kendskabet til, hvordan dioxiner opfører sig i kroppen, er det relativt simpelt at beregne den daglige indtagelse af TCDD, der skal til for at opnå en kroppsbelastning på mellem 28.000 og 73.000 picogram TCDD pr. kg legemsvægt hos mennesker. Hertil kræves 14 - 37 picogram pr. kg legemsvægt pr. dag i mere end 30 år (den biologiske halveringstid for dioxin er 7,5 år, og der kræves 4-5 halveringstider for at opnå ligevægt mellem indtagelse og udskillelse i kroppen). Ud fra disse overvejelser fastsatte WHO en tolerabel daglig indtagelse (TDI) som et interval på 1-4 picogram WHO-TEQ pr. kg legemsvægt pr. dag under anvendelse af en usikkerhedsfaktor på 10.

Ved vurderinger af tilsætningsstoffer og pesticidrester i fødevarer ville man normalt anvende en usikkerhedsfaktor på 100 eller mere. En så stor usikkerhedsfaktor er ikke realistisk for dioxinerne, medmindre man ville forbyde folk at spise æg, fjerkræ, mejeriprodukter, okse- og svinekød og fisk. I overvejelserne af valget af en mindre usikkerhedsfaktor (på 10) indgik, at der var tale om forsøg med dyr, og at de fleste undersøgelser tyder på, at mennesker er mindre følsomme (op til 10 gange) end dyr. Desuden blev der taget udgangspunkt i sammenlignelige kroppsbelastninger hos mennesker og forsøgsdyr, hvorfor der ikke var behov for den del af den "normale" usikkerhedsfaktor, som skal tage højde for forskelle i stoffernes opførsel hos forsøgsdyr og mennesker. Endelig blev der taget udgangspunkt i en forøget belastning af kroppen hos forsøgsdyrene, udover det baggrundsniveau, der skyldes foderets "normale" indhold af dioxiner. Ved at angive TDI som et interval ønskede WHO at signalere behovet for på længere sigt at nedbringe miljøbelastningen og hermed forbedre fødevarerikkerheden, således at den daglige indtagelse bliver mindre end 1 picogram TEQ pr. kg legemsvægt.

WHO estimerede den nuværende indtagelse af dioxiner hos mennesker i Vesteuropa til at være 1-3 picogram TEQ pr. kg legemsvægt pr. dag. Hvis de dioxin-lignende PCB-stoffer yderligere medtages, er indtagelsen 2-6 picogram TEQ pr. kg legemsvægt pr. dag. Disse værdier hviler på, at man i kroppen hos mennesker har fundet 2.000-6.000 uden medregning af PCB og 4.000-12.000 picogram WHO-TEQ pr. kg legemsvægt, hvis

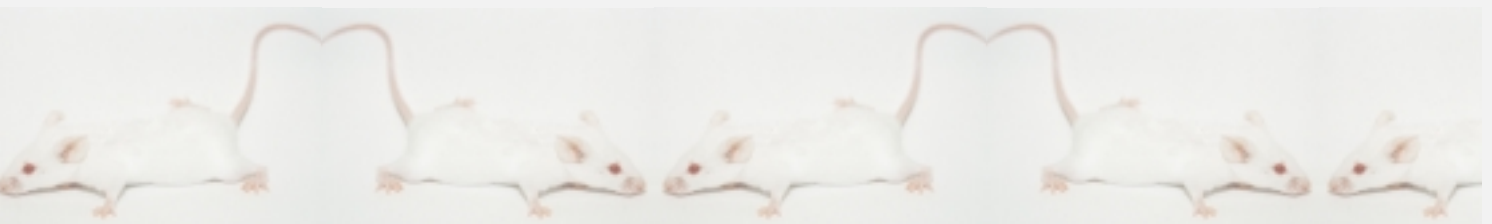


PCB medregnes. Samtidig konstaterede WHO, at der i de lande, som havde gennemført systematiske analyser, var konstateret et markant fald i indholdet af dioxiner i fødevarer, primært som følge af miljømyndighedernes indsats for at begrænse dioxin-forureningen fra fx affaldsforbrænding af chlorholdige kemikalier, og som følge af kraftige restriktioner for anvendelse og bortskaffelse af PCB.

Fødevedirektoratet har med baggrund i udenlandske analyser af dioxin i fødevarer skønnet, at den danske gennemsnitsforbruger indtager ca. 1,5 picogram TEQ pr. kg legemsvægt pr. dag af dioxin. Fødevedirektoratet lavede også et konservativt skøn over indtagelsen af dioxin-lignende PCB-stoffer og estimerede den samlede dioxin-indtagelse til ca. 5 picogram TEQ pr. kg legemsvægt pr. dag. Hvis der i stedet tages udgangspunkt i dioxin-indholdet i danske kvinders modermælk fra 1993-94, der i gennemsnit var 15.200 picogram TEQ pr. kg fedt for dioxinerne og 33.400 picogram TEQ pr. kg fedt, hvis de dioxin-lignende PCB-stoffer medregnes, svarer dette til kropsbelastninger på 2.300 henholdsvis 5.000 picogram TEQ pr. kg kropsvægt (under antagelse af at et menneske indeholder 15% fedt). For at opnå sådanne kropsbelastninger skal den daglige indtagelse af dioxinerne være ca. 1,2 henholdsvis 2,5 picogram TEQ pr. kg legemsvægt. Denne forskel mellem skøn baseret på analyser af fødevarer og skøn baseret på målte kropsbelastninger afspejler den usikkerhed, der råder om de rent faktiske indtagelser og graden af ophobning i kroppen, især for de dioxin-lignende PCB-stoffer.

WHO's vurdering er ikke en kvantitativ vurdering af risikoen ved indtagelse af dioxiner. Det ligger i TDI-begrebet, at indtagelse på TDI-niveau ikke vil medføre sundhedsskader eller andre risikoer. Hertil kommer, at overskridelser af TDI gennem kortere eller længere tidsperioder heller ikke anses for at medføre erkendbare sundhedsskader. Det er dog ikke muligt på det foreliggende datagrundlag at foretage en eksakt kvantitativ vurdering af, hvor meget og/eller hvor længe TDI kan overskrides uden risiko for sundhedsskader. For at nå op på de niveauer, hvor der vil kunne iagttages sundhedsskadelige effekter hos mennesker og især påvirkning af fostret og endometriose, vil der kræves koncentrationer af dioxiner i fødevarer, der er væsentligt højere end de nuværende vesteuropæiske niveauer. Der er her regnet med daglige indtagelser gennem 20-30 år.

I kølvandet af fundene af dioxiner i madvarer fra Belgien i 1999 gik EU i gang med at diskutere grænseværdier for dioxiner i foderstoffer og fødevarer til mennesker. Specielt har der i Danmark været megen debat om grænseværdier for dioxin i fedtstoffer til foderbrug. Fødevedirektoratet og Plantedirektoratet har beregnet, at man totalt set vil kunne nedbringe danskernes belastning med dioxiner med ca. 20%. Heraf vil der kun kunne opnås ca. en fjerdedel ved restriktioner i anvendelsen af fiskeolier og fiskemel til foder. Det er den generelle forurening af fx græs, ensilage, korn, jord og havmiljøet, som spiller den langt største rolle. Det er derfor kun en fortsat og intensiveret indsats over for dioxin-dannelse og udslip til miljøet, der på længere sigt kan nedbringe menneskers belastning.



Boks 8 – Partikler fra trafikken

FOTO: DIMU / HANS LØKKE



I de seneste 15 til 20 år har luftforureningen i danske byer ændret karakter. Udslippene fra industri og kraftværker er blevet begrænset og har sammen med de højere skorstene ført til mindre bidrag til den lokale forurening. I samme periode er der sket en betydelig vækst i biltrafikken. Denne udvikling har betydet, at trafikken i dag udgør den væsentligste kilde til befolkningens udsættelse for luftforurenende stoffer såsom kvælstofilter, kulilte, kulbrinter og ikke mindst partikler. På det seneste har luftforurening med partikler i større danske byer og især i København fået en stigende bevågenhed i medierne og politisk. En række forskningsresultater underbygger, at der er grund til at tage denne forurening alvorligt.

Ved indånding af partikler opfanges de grovere partikler (med den såkaldte aerodynamiske diameter over 10 mikrometer, hvor 1 mikrometer er 1/1000 millimeter) i de øvre luftveje i næse og svælg. Partikler under 10 mikrometer afsættes også længere nede i luftvejene, mens partikler under 5 mikrometer er i stand til at trænge helt ud i lungernes

yderste forgreninger. Jo længere partiklerne når ned i lungerne, desto længere tid tager det, før de er elimineret af lungernes forsvarsmekanismer. Det betyder, at små partikler er mere skadelige end de grovere partikler. Hertil kommer, at de små partikler lettere trænger ind i bygninger og dermed til indeluften, hvor der derfor ofte er sammenlignelige niveauer med udeluften.

Undersøgelser af helbredseffekter

Debatten om partiklers skadelige indflydelse på helbredet tog fart i 1993 efter offentliggørelsen af en amerikansk undersøgelse, som viste en meget klar sammenhæng mellem den årlige middelkoncentration af massen af partikler med en diameter under 2,5 mikrometer (PM_{2,5}) og dødeligheden i seks amerikanske byer. To år senere blev en tilsvarende undersøgelse i 151 amerikanske byer offentliggjort. Denne undersøgelse viste også en effekt af PM_{2,5}, men sammenhængen var knapt så klar. Resultaterne fra disse og andre udenlandske undersøgelser er søgt overført til danske forhold. Der er tale om mange ekstra dødsfald og ekstra indlæggelser på hospitalet pr. år som følge af udsættelse for partikler i udeluft. Undersøgelser af de lidt grovere partikler PM₁₀ (massen af partikler med en diameter under 10 mikrometer) tyder på, at en reduktion af koncentrationen på 30% ville reducere antallet af årlige dødsfald med ca. 500 pr. en million mennesker i de større byområder. I en anden undersøgelse har en hollandsk forsker overført de amerikanske undersøgelser af effekten af PM_{2,5} til hollandske forhold, som svarer ganske godt til

forholdene i København. Den hollandske undersøgelse viste, at effekten af partiklerne svarer til en reduktion i den forventede levealder på ca. 1 år. Til sammenligning har en meget omfattende dansk rygerundersøgelse vist, at rygere kan forvente at leve op til 7 år kortere tid end ikke-rygere, mens storrygere, som ryger mere end 15 cigaretter pr. dag, kan forvente gennemsnitligt at leve 10 år kortere tid. Helbredseffekten er lidt større for kvinder end for mænd, og effekten er så stor, at passiv rygning må antages også at udgøre en markant risikofaktor. Rygning og passiv rygning er således væsentlige, kendte risikofaktorer, men også en reduktion i den forventede levealder på 1 år som følge af udsættelse for partikler i udeluft er en betragtelig helbredseffekt, som bør tages alvorligt. Hertil kommer, at rygere i storbyer med luftforurening har langt større helbredseffekter end rygere på landet.

Partikler kan påvirke befolkningens velbefindende, ikke mindst hos særligt udsatte grupper. En række undersøgelser har vist sammenhænge mellem koncentrationerne af partikler i udeluft og forværring i luftvejssygdomme, som fx kan udtrykkes i forbruget af astmamedicin.

Kilder til partikler i luft

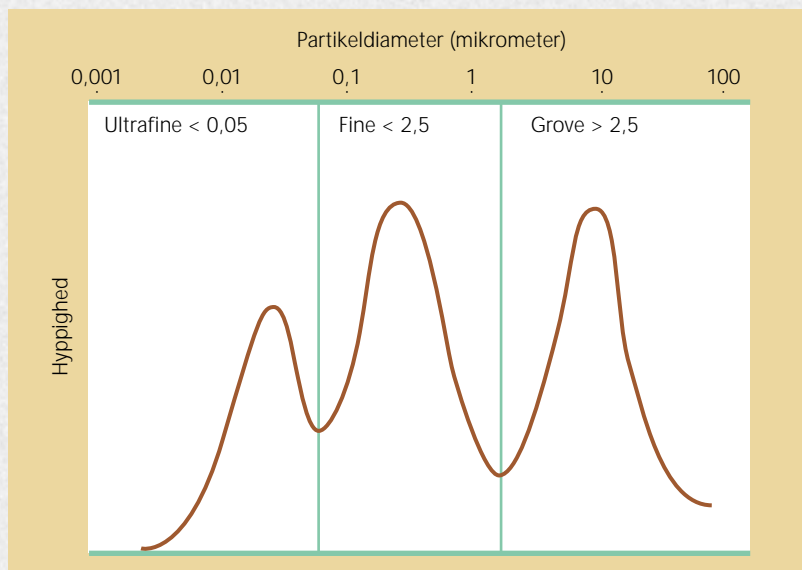
De fleste forbrændingsprocesser fører til dannelse af partikler. Forbrændingsmotorer er ingen undtagelse, og vejtrafik er en meget væsentlig kilde til partikler i luften. Udstødningen fra dieselmotorer indeholder et stort antal meget små partikler - hovedparten under 0,1 mikrometer. Disse partikler betegnes ofte "ultrafine partikler". Nye danske forskningsresultater har vist, at biler med benzinmotor ligeledes udsender en betydelig mængde meget små partikler. I gennemsnit udsender et dieselmotor dog 25 gange så mange partikler som et benzinmotor. Benzinmotorernes partikler er større end dieselmotorernes. Dieseltrafikken udgør i gennemsnit omkring 20% af trafikken i bygaderne, men bidrager med omkring 85%, medens benzinbilerne bidrager med omkring

14% af udslippet af ultrafine partikler i gaden. Dieselpartiklerne er kendt for at indeholde en lang række stoffer, bl.a. kræftfremkaldende PAH'er og beslægtede kvælstofholdige stoffer. Den kemiske sammensætning af partikler fra trafik afhænger dog af mange faktorer såsom kørselsforhold og brændstofsammensætning.

Partiklerne i byluft er naturligvis ikke kun et resultat af udslip fra biler. Der kan være andre kilder som kraftværker og boliger, og partikler kan dannes i luften ved kemiske reaktioner. Udslip af svovl, kvælstofoxider og ammoniak fra såvel trafikken som fra andre kilder fører til dannelse af partikler, som indeholder henholdsvis sulfat, nitrat og ammonium. Endvidere kan organiske forbindelser forekomme i form af luftbårne partikler. Nogle af disse kommer fra naturlige kilder. De kemisk dannede partikler er ultrafine ligesom partiklerne i udstødningen fra biler. I atmosfæren klumper partiklerne sig imidlertid sammen ved koagulationsprocesser, og vanddamp og gasser kondenserer på partiklerne og får dem til at vokse. Partiklerne ender hermed i den såkaldt fine fraktion mellem ca. 0,5 og 2 mikrometer. De fine partikler fjernes kun effektivt i forbindelse med nedbør og har som følge heraf en meget lang levetid i atmosfæren. Derfor kan fine partikler transporteres over mere end tusinde kilometer. Når de optræder i byerne, vil de derfor især stamme fra langtransport. Støv fra vejbelægning og dæk er ligeledes en væsentlig kilde til luftbårne partikler i byerne. Disse partikler er dog gennemgående større, typisk over 4 mikrometer. Jordfygning og havsprøjt bidrager ligeledes til dannelsen af lidt større partikler. Partiklerne i den grove fraktion holder sig kun svævende i relativt kort tid. De er derfor som regel af lokal oprindelse.

Metoder til vurdering af helbredseffekter

Helbredseffekter kan vurderes ved hjælp af epidemiologiske undersøgelser. De nyeste undersøgelser omfatter en analyse af sam-



Skematisk størrelsesfordeling af luftbårne partikler i byluft. Der er et stort antal af de ultrafine partikler, som stammer fra trafikken, men de bidrager kun lidt til den samlede masse i modsætning til de færre, men tungere grove partikler, som falder i 2 grupper. De mellemste partikler stammer fra langtransport. De grove partikler er primært sand og støv. Partikler måles eksempelvis som TSP, PM_{0,05} og PM_{2,5}. TSP (total suspended particulate matter) eller svævestøv er den samlede partikelmængde angivet som vægt. PM_{0,05} og PM_{2,5} er partikler under henholdsvis 0,05 mikrometer og 2,5 mikrometer angivet som vægt.

menhængen mellem dødelighed og massen af partikler under 2,5 mikrometer (PM_{2,5}) i udeluft. For at bestemme, i hvilken grad befolkningen udsættes for partikler, anvender man målinger fra de overvågningsstationer, der er opstillet i større byer, samt matematiske modeller, som kan beregne de koncentrationer, man udsættes for i byernes gader. Erfaringerne viser, at middelværdien af de mellemstore partikler (PM_{2,5}) over lang tid giver et godt mål for den faktiske indtagelse af partikler. Disse stammer primært fra langtransport og giver kun i mindre grad et billede af de aktuelle udslip i den enkelte gade, der primært er små partikler med lille masse. Der er imidlertid meget, som tyder på, at helbredseffekterne især er knyttet til de ultrafine partikler, som næsten udelukkende stammer fra direkte udslip i gaden. En vurdering af risikoen ved disse partikler forudsætter en mere detaljeret information om, i hvilken grad den enkelte person udsættes for partikler.

Ekspertene kan måle, hvor mange partikler den enkelte indånder, ved at lade personen bære et måleinstrument. Ud fra de data, som opsamles af instrumentet, kan man beregne indåndingen af partikler ved brug af mate-

matriske modeller. Ekspertene kan også måle forskellige stoffer, som forekommer naturligt i blod og urin, de såkaldte biomarkører. Biomarkørerne vil kunne afsløre, om personen har indåndet skadelige mængder af partikler, og de kan samtidig indikere, om der er opstået skader på helbredet. Biomarkørerne kan anvendes til vurdering af skader på DNA i de hvide blodlegemer i form af kromosomskader og binding af forbrændingsproduktet PAH til DNA. Undersøgelser af denne type foretages i disse år i såvel Danmark som i udlandet. Analyser foretaget på buschauffører i Københavns centrum har bl.a. vist høje niveauer af PAH-bindinger til DNA, når de sammenlignes med chauffører på ruter uden for byen.

Det er vigtigt at understrege, at luftforurening med partikler er sammensat af en lang række stoffer med forskellige effekter, og at partiklerne optræder samtidig med en række gasformige forureninger. Der kan således optræde kombinationseffekter, hvor de forskellige forureninger kan forstærke hinandens effekt. Disse effekter er vanskelige at måle, men ved at udføre en række dyreforsøg kan man være heldig at afsløre, om der forekommer kombinationseffekter. I disse dyreforsøg udsættes fx mus for kendte blandinger af forurening og henholdsvis for de enkelte komponenter i forureningen under kontrollerede forhold. Resultaterne fra forsøgene med dyr i forurenede luft sammenlignes med dyr, som ikke har været udsat for forurening. Der udføres også kontrollerede forsøg i særlige klimakamre med mennesker (frivillige), som har lungelidelser. De udsættes for lave koncentrationer af luftforureninger, for at man kan se, om der fremkaldes allergiske reaktioner.

Om opfattelsen af risiko

Taler vi forbi hinanden?

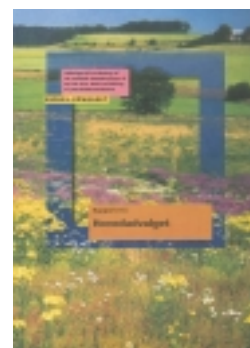
Begrebet "risikokommunikation" bruges af eksperterne om formidlingen af en konkret risiko til befolkningen og om dialog og diskussion af risikoen med borgerne. Risikokommunikationen er en del af risikohåndteringen.

I tilfældet med pesticider (se Boks 1) foregår der en betydelig kommunikation mellem myndighederne og brugerne af pesticider såvel som befolkningen. Myndighederne informerer med brochurer, etiketter på sprøjtemidlerne med brugsanvisninger, advarsler og sikkerhedsregler. Der gennemføres obligatorisk undervisning for brugerne af pesticider i erhvervene, og der afholdes møder, seminarer og kongresser. Der vises film om pesticider, og medierne bringer ofte oplysninger eller nyheder om ny forskning, uheld eller misbrug af pesticider. Politikerne, grønne organisationer og befolkningen som helhed er optaget af pesticiderne og den risiko, de kan indebære for miljøet og sundheden. Også producenterne af pesticider og de erhverv, som bruger pesticiderne, deltager i den offentlige debat med deres indlæg. Samlet set foregår der således en betydelig kommunikation om pesticider. Området er imidlertid så stort og komplekst, at kun de færreste har det fulde overblik over alle aspekter – ikke mindst inden for forskningen findes der et uhyre stort antal bøger og tidsskriftsartikler om pesticider. Senest har det såkaldte Bicheludvalg kulegravet alle aspekter ved pesticider som grundlag for en

ny handlingsplan for reduktion af brugen af pesticider, se www.mst.dk. Meningerne spænder vidt og debatten er og har gennem årene ofte været skarp. Den omfattende viden og forskning ændrer ikke på det faktum, at pesticiderne er gifte. Der er derfor til stadighed brug for at vurdere og kommunikere resultaterne af risikovurderingerne.

De gensplejsede mikroorganismer (se Boks 2) udgjorde et stort stridspunkt i miljødebatten i 1980'erne. Der har været en særdeles grundig og langvarig debat og kommunikation om risikoerne. Der har ligeledes været en omfattende offentlig debat om spredningen af bakterier med resistens over for antibiotika (se Boks 4). Det er her vanskeligt for eksperterne at redegøre for, at der ikke kan gives en 100% garanti for, at alle resistente mikroorganismer kan udryddes. Det drejer sig om naturlige organismer, som kan udvikle sig under de rette forhold.

Ligesom de øvrige områder er brugen af spildevandsslam som gødning i landbruget baseret på den eksisterende viden (se Boks 5). I takt med at stadigt mere spildevand bliver rensat i moderne renseanlæg, har produktionen af spildevandsslam været jævnt stigende de sidste par årtier. Slam indeholder en række næringsstoffer som fosfor, kvælstof og svovl, der kan genbruges af landbruget til gødsning af marker med afgrøder og græs. Altså en klar fordel for såvel landbruget som bysamfundene, som skal af med slammet. Foruden næringsstoffer indeholder slam desværre også en lang



Bicheludvalget har kulegravet alle aspekter ved pesticider som grundlag for en ny handlingsplan for reduktion af brugen af pesticider

række giftstoffer såsom tungmetaller og miljøfremmede stoffer, som kan forurene jord og afgrøder. En del af disse stammer fra husholdningerne, hvor spildevandet indeholder rester af opvaskemidler, rengøringsmidler, tilsætningsstoffer, afsmitning fra plastic og meget andet.

Samfundet og landmændene har en fælles interesse i at få recirkuleret næringsstofferne fra byerne, men har også en forpligtelse til, at dette ikke fører til uønsket risiko for miljø og sundhed. Der er her stor bekymring over for eventuelle langtidsvirkninger af de mange spormængder af forskellige kemiske stoffer, som findes i slammet. Specielt er mange landmænd bekymrede for, om der skulle dukke ny viden op, som rykker ved anbefalingerne om at bruge slammet som gødning. I sidste ende er det jo dem, der står tilbage med problemet, hvis jorden med "tilbagevirkende kraft" bliver bedømt som forurenet. Kommunikationen om slam indeholder ligesom diskussionen om pesticider en afvejning af fordele og ulemper, som er til stadig debat. Danmark har i øvrigt en af verdens skrappeste lovgivninger med grænseværdier for en lang række stoffer, der findes i slammet. Mange af de samme stoffer findes i forvejen i jorden, hvor de er tilført som luftforurening (bl.a. dioxiner, PCB, pesticider og forbrændingsprodukter fra trafikken og energiproduktionen).

Et af de store og dyre miljøproblemer, som hører til "fortidens synder", er forurenet jord (se Boks 6). Der er i skrivende stund kortlagt mere end 14.000 forurenede arealer. Heraf berører mange de mennesker, som bor på eller ved arealerne, eller som benytter børneinstitutioner, parker eller legepladser, hvor jorden er forurenet. De lokale myndigheder skal informere borgerne om, at de ikke bør spise egne grøntsager eller frugter, som er dyrket på forurenet jord. Det kan være en vanskelig opgave for myndighederne at sikre sig, at de berørte borgere bliver grundigt informeret. Også i socialt belastede områder,

hvor beboerne ikke nødvendigvis selv henter informationer fra internettet og biblioteket eller nærlæser foldere, der dumper ind gennem brevsprækken. Vanskeligheden består i at informere om risikoen på en måde, som skaber respekt over for risikoen, men uden at forårsage unødigt bekymring eller panik på den ene side eller ligegyldighed på den anden side.

I modsætning til den indesluttede anvendelse af gensplejsede mikroorganismer giver de gensplejsede planter (se Boks 3) anledning til en ophedet debat, hvor kendsgerninger og forestillinger flyver gennem luften som kasteskyts. I USA anvendes forskellige typer gensplejsede afgrøder af majs og andre afgrøder. Præsidenten for majsdyrkernes organisation i USA, der selv er landmand, udtalte for nylig, at vi er overforsigtige i Europa. Samtidig sagde han, at det ikke er teknologien, men de multinationale firmaer, som kontrollerer produkterne, der er årsagen til bekymringen i befolkningen. Måske bærer den bioteknologiske industri en god del af ansvaret for, at den videnskabelige samtale om risikoer ikke har fået gennemslag på dette område. Endelig spiller etiske og kulturbestemte opfattelser en stor rolle. Det virker simpelthen for uoverskueligt for borgerne, hvad industrien er i færd med, og hvilke konsekvenser det kunne have. Derfor tales ikke samme sprog.

Kommunikationen om dioxiner og PCB er ligeledes vanskelig, og den kan give anledning til stor bekymring og måske panik. Der er tale om særdeles giftige stoffer, som i vidt omfang er spredt over hele jordkloden og ikke kan fjernes igen, se Boks 7. I øvrigt kan der dannes mindre mængder af dioxiner ved skovbrande, som bl.a. kan antændes naturligt ved lynnedslag. Ekspertterne har en stor opgave i på samme tid at forklare, at dioxiner er yderst giftige, og at myndighederne gør alt, hvad der er fornuftigt for at mindske forureningen ved kilderne, men at det er nødvendigt at spise fødevarer med små, men tolerable

indhold af dioxiner. Det gælder især fisk, som er vigtige i en god og alsidig kost. Også modernælk indeholder dioxiner. Det er ligeledes vigtigt at eksperter og andre ikke skræmmer ammende mødre fra at give deres børn modernælk. Modernælk er uvurderlig for barnets ernæring og trivsel i den første tid. Selve amningen er vigtig for at skabe et trykt forhold mellem mor og barn.

Risikoen ved uheld i trafikken er alle klar over, og bilisterne er bekendt med det høje antal dødsfald. De undervurderer imidlertid deres egen risiko og kører generelt for stærkt. Kampagner for at nedsætte hastigheden er glemte, næsten før de er afsluttet. Også når det drejer sig om luftforureningen fra biler, er det vanskeligt at kommunikere om risikoen, og især hvis talen fører hen mod begrænsninger i den enkeltes frie ret til at bruge bilen som transportmiddel. Ikke desto mindre er der generel forståelse for problemerne, og der er opnået betydelige resultater. Her kan specielt indførelsen af katalysatorer på bilerne fremhæves som et stort fremskridt for miljøet. Den seneste tids alarmerende oplysninger om meget små partiklers skadevirkning har ført til en øget bevidsthed om dette problem hos de fleste mennesker (se Boks 8).

Det kan konkluderes, at der på mange områder føres en god dialog mellem eksperter, myndigheder, borgere og repræsentanter for erhvervene, og at medierne spiller en vigtig rolle i at videregive informationer og debat. Det er som regel vanskeligt at overskue de forhold, der ligger bag en given risiko. Hertil kommer etik og holdninger, som kan være vidt forskellige hos eksperter og borgere og indbyrdes mellem eksperter og borgere. Derfor vil de ofte tale forbi hinanden om en given risiko.

Forsigtighedsprincippet

Af de foregående afsnit fremgår det, at det ikke er ligetil at gennemføre en risikovurdering. Ofte mangler der viden. I almin-



FOTO: DMU / JØRGEN AAGAARD AXELSEN

Amningen er vigtig for at skabe et trykt forhold mellem mor og barn. Modernælk er uvurderlig for barnets ernæring og trivsel i den første tid, men dette skal vejes over for, at modernælk indeholder dioxiner. Resultatet af eksperternes afvejning er, at mødre bør amme.

delig retspraksis skal det bevises, at en forbryder er skyldig før han/hun kan dømmes. Her har man et "forsigtighedsprincip", der siger, at det er bedre at frikende en skyldig end at dømme en uskyldig. På denne måde frikendte lovgivningen de eksisterende 100.000 kemiske stoffer, som blev registreret i EU i tiden 1971-1981. Nu gælder det omvendte for de nye miljøfremmede stoffer. Her skal det sandsynliggøres, at et stof ikke er farligt, dvs. at det er uskyldigt. Forsigtighedsprincippet går her ud på, at det er bedre at dømme et ufarligt stof for at være farligt end det omvendte, hvor et farligt stof bliver erklæret ufarligt. Når et stof skal i "retten", skal det altså bevise sin uskyld! Det kalder man inden for juraen for omvendt bevisbyrde. Hvis ikke der foreligger tilstrækkeligt videnskabeligt baseret bevismateriale om et givet stof, kan myndighederne anvende forsigtighedsprincippet til at indføre begrænsninger i stoffets anvendelse eller helt forbyde anvendelsen af det for at beskytte miljøet eller den menneskelige sundhed. Med andre ord kan politikerne "bortdømme" et stof alene på grund af indicier, men i virkelighedens verden er dette sjældent tilfældet.

Begrebet "forsigtighedsprincippet" er ved at vinde indpas inden for miljøområdet (Miljøstyrelsen, 1998), uden at der er formuleret en præcis definition. Formålet med forsigtighedsprincippet er at give en større grad af vished for, at skader ikke opstår. I tilfælde,

hvor der er tvivl og stor usikkerhed i vores viden, er der ønske om at anvende forsigtighedsprincippet. Det handler også om, at videnskaben i sig selv hviler på antagelser, som til stadighed bør afprøves. Det afgørende i princippet er, at miljøet og den menneskelige sundhed ikke skal bære ulemperne af en adfærd, der er videnskabelig tvivl eller usikkerhed om. Der indgår derfor politiske og økonomiske overvejelser i brugen af forsigtighedsprincippet. I Rio-deklarationen fra 1992 siges det, "at for at beskytte miljøet, skal forsigtighedsprincippet i vid udstrækning anvendes af de enkelte lande i overensstemmelse med deres evne. Hvor der er trusler om uoprettelige skader, skal manglende videnskabelig sikkerhed ikke bruges som grund til at udsætte omkostningseffektive forholdsregler for at hindre skade på miljøet". Gennem de senere år har forsigtighedsprincippet i en række tilfælde været anvendt til at forbyde stoffer, fx visse pesticider, hvor der forelå indier om skadelige effekter. Eksemplet med benzin viser på den anden side, at skønt benzin er farligt, ville ingen politiker drømme om at forbyde anvendelsen af det. Hvis der på et senere tidspunkt skulle komme nyt videnskabeligt materiale, kan politikerne inddrage dette i fornyede overvejelser, om benzin skal forbydes.

Forsigtighedsprincippet indebærer, at myndighederne kan handle med indgreb og forbud uden at have et solidt datagrundlag, men allerede ved en sandsynlighed for forurening eller anden påvirkning. Forsigtighedsprincippet bygger så langt som muligt på en naturvidenskabelig vurdering af risikoer, men udlægningen af, hvor forsigtig man vil være, vil grundlæggende bero på en politisk afgørelse.

Vi ser ikke ens på risikoer

Opfattelsen af risikoer er i høj grad et kultur-betinget og socialt fænomen. I vurderingen af risikoen indgår således etiske overvejelser, som både kan basere sig på det kendte,

naturvidenskabelige fundament og på formodninger og forestillinger dér, hvor vores viden og fantasi kommer til kort, fx inden for bioteknologiens etiske dimension.

I indledningen blev nævnt 3 eksempler på risikoer, som opfattes forskelligt. Kniven indebærer en risiko for, at man skærer sig, og den anvendes som mordvåben, men der er en årtusindlang tradition for at håndtere knive sikkert. Eksperter og borgere har nogenlunde samme opfattelse af risikoen ved knive. Ulven regnes for farlig og i den folkelige bevidsthed er dens adfærd forbundet med en risiko, som er langt større, end den bliver vurderet af eksperter. Brugen og afbrændingen af benzin er en åbenbar risiko, som eksperterne vurderer som stor, men som de fleste borgere og eksperter på andre områder negligerer og lever med til daglig.

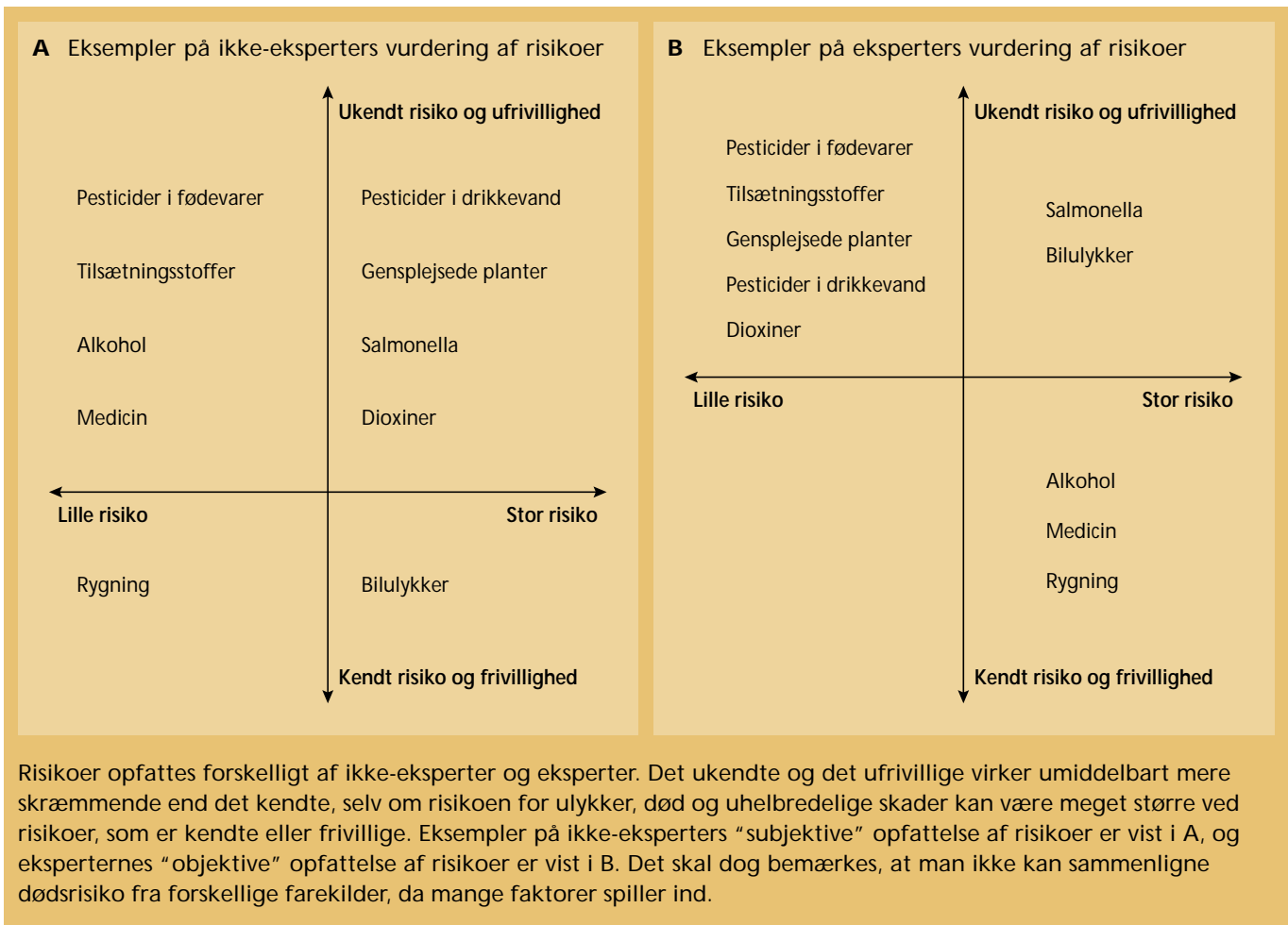
På figuren på side 43 er illustreret, hvordan henholdsvis borgerne og eksperterne ofte ser på den samme risiko. På den vandrette akse er angivet graden af oplevet eller erfaret risiko. På den lodrette akse er angivet graden af frivillighed i at udsætte sig for den pågældende risiko. Igen som dette opleves af den enkelte. Figuren viser, at ikke-ekspertens opfattelse af rygning er placeret med lav risiko og stor grad af frivillighed. Denne placering vil være typisk for en ryger, som ikke tænker på risikoen ved passiv rygning.

En "ekspert" er kun ekspert på sit eget og måske tilgrænsende område, mens han eller hun tilhører "borgerne" på alle andre områder. Borgere, som ikke er "officielle" eksperter, kan dog ofte sidde inde med en betydelig ekspertviden. Figuren på side 43 skal derfor tages med mange forbehold, og den tjener kun til at illustrere, at opfattelsen af risiko ikke er et éntydigt begreb.

I virkeligheden har hvert enkelt menneske sin egen opfattelse af en given risiko, som afhænger af den kulturelle og sociale baggrund og ikke mindst den personlige viden og interesse



Miljøstyrelsen afholdt i 1998 en konference om forsigtighedsprincippet, se www.mst.dk



for området. Der er således heller ikke en fælles "dansk", "europæisk" eller "global" opfattelse af risikoen ved knive, ulve, benzin eller nogen anden form for risiko.

Eksperten vil i nogle tilfælde vurdere, at en given risiko er væsentligt mindre, end den opfattes af ikke-eksperter. I andre tilfælde forholder det sig modsat, og forskellige eksperter vil ofte have forskellig opfattelse ud fra deres viden på deres eget felt. Som eksempel vil eksperter i giftens virkning på mennesker vurdere, at risikoen er meget lille ved at drikke vand med indhold af pesticider lige under grænseværdien. En ekspert i giftens virkning på organismer i miljøet vil på den

anden side være betænkelig ved koncentrationer i nærheden af grænseværdien for drikkevand. Nogle pesticider har nemlig dødelig effekt på organismer i vandet ved sådanne meget lave koncentrationer.

Accepteres risikoen først, når der er 100% sikkerhed?

I de senere års debat om forureningen af grundvandet med pesticider har der ofte været fremført et ønske om 100% rent vand, dvs. et faktisk *nulindhold*. I takt med analysemetodernes udvikling kan eksperterne påvise stadigt lavere koncentrationer, og forbrugernes krav om renhed skærpes i

takt hermed. Problemet er imidlertid, at uanset hvor god en metode, eksperterne udvikler, vil der altid kunne være molekyler til stede, som man ikke vil kunne påvise. Eller sagt på en anden måde: Det sidste pesticidmolekyle i en liter vand kan ikke påvises. Her ligger et af kernepunkterne i den forskellige opfattelse af risikoer hos forbrugerne og eksperterne.

Ekspertene kan i de fleste tilfælde fastsætte grænseværdier. Hvis de ikke overskrides, vil miljøet og/eller forbrugernes sundhed gennem et helt liv ikke blive påvirket. Ekspertene er ligeledes klar over, at den nuværende viden måske ikke er fuldstændig. De bruger derfor usikkerhedsfaktorer eller andre beregningsmetoder, der imødegår usikkerheder og mangler, således at grænseværdierne kan anses for at være endog særdeles sikre. Mange vil imidlertid hævde, at hvis man begrænser forureningen og fastsætter grænseværdier, har man også *accepteret en vis forurening*. Selv om det drejer



De fleste forbrugere vil acceptere færdsel i trafikken, rygning, alkohol, medicin, skiløb og usund mad, hvor risikoen er frivillig og en del af deres kultur.

FOTO: DMU / HANS LØKKE

sig om det sidste molekyle i én liter vand, som ikke kan bestemmes.

Mistillid til eksperter skyldes for en stor del, at det moderne samfund er særdeles kompliceret og indebærer en næsten uendelig række af risikoer, som er ganske uoverskuelige, ikke mindst fordi de kan optræde samtidigt og indvirke på hinanden. Den tyske sociolog Ulrich Bech har i sin bog "Risikosamfundet – på vej mod en ny modernitet" beskrevet, hvorledes samfundet konstant producerer risikoer, som borgerne skal forholde sig til. Tilmed har de fleste oplevet eksperter, som har optrådt skræmmende og som om, de var ufejlbarlige. Senere har det måske vist sig, at eksperterne har udtalt sig på et spinkelt grundlag, eller måske har de ligefrem fortiet oplysninger. Derfor bliver borgerne forvirrede og taber tilliden til eksperterne. Ekspertene antager, at det er muligt på specialiseret og fagligt autoritativ vis at fastlægge risikoer objektivt. Videnskaben "fastslår risikoer", befolkningen "iagttager risikoer". Eventuelle afvigelser fra dette mønster udtrykker graden af "irrationalitet" og "teknologifjendtlighed".

Hvilken risiko, samfundet accepterer, beror i høj grad på kulturelle forskelle. Som eksempel er der stor forskel på accepten af brugen af hormoner i produktionen af oksekød i USA og i Europa. Tilsvarende er accepten af gensplejsede afgrøder for øjeblikket relativt stor i USA, mens store dele af befolkningen i mange europæiske lande ikke accepterer gensplejsede planter.

De fleste forbrugere vil acceptere en risiko, hvis den er frivillig og har betydning i deres kultur. Det gælder færdsel i trafikken, rygning, alkohol, medicin, skiløb og usund mad. De langt mindre risikoer som pesticider i drikkevand, gensplejsede afgrøder og kemiske stoffer i godkendte produkter accepteres ikke af forbrugerne, og det spiller her en rolle, at risikoen er ufrivillig og delvis ukendt. Men forskellen skyldes også etik, politik og holdninger.

Det er vigtigt, at eksperterne respekterer, at det står enhver frit for, om man vil acceptere en given risiko. Men det er samtidig eksperternes forpligtelse at frembringe den bedst tilgængelige viden og at foretage en så objektiv risikovurdering som muligt af de mange kemiske stoffer, produkter og andre goder, som forbrugerne er så dybt afhængige af i det moderne samfund. Det er også eksperternes forpligtelse at fremlægge de grundlæggende antagelser, usikkerheder og muligheder for fejlvurderinger i deres arbejde. Det gælder også det, man ikke ved, selv om det naturligvis er forbundet med megen vanskelighed. Det er politikernes og myndighedernes forpligtelse at sørge for love og regler, som beskytter miljøet og befolkningen. Det bedste grundlag for beslutningerne bliver skabt, når eksperter og forbrugere indgår i en samtale, som fører til gensidig respekt og tillid. Dette er en fremtidig udfordring for såvel eksperter som borgere og forbrugere!

Gårsdagens ufejlbarlige ekspert findes ikke længere. Til gengæld kan 100% sikkerhed heller ikke længere tilbydes. Prøv i øvrigt at gøre det tankeeksperiment, at samfundet intet havde gjort på miljø- og sundhedsområdet. At der bare var givet los med pesticider, industrikemikalier, gensplejsning og på de andre områder, som nu er reguleret!

Vi har gennem årtusinder levet med risikoen ved knive, vi har en overdreven kulturelt betinget frygt for ulve, og vi har endnu ikke lært at håndtere risikoen ved benzin og dens forbrændingsprodukter på fuldt forsvarlig vis. Vi befinder os midt i det, nogle kalder risikosamfundet! Andre kalder det viden- og informationsamfundet. I alle tilfælde er viden og information nødvendig for at forstå og håndtere de risikoer, der er en del af hverdagen.

Sammenfatning

Ordet risiko bruges i daglig tale, men det mangler en tydelig definition i hverdagen. Med udgangspunkt i eksperternes verden belyser dette hæfte begreberne fare, risiko og usikkerhed. Risiko defineres her som en kombination af hyppigheden af eller sandsynligheden for en uønsket hændelse og omfanget af konsekvenserne. De begreber, som bruges i analysen og håndteringen af risikoen, bliver gennemgået som baggrund for 8 konkrete eksempler på, hvordan risiko analyseres og vurderes af eksperter inden for miljø- og fødevarerområderne. De præsenteres af eksperter fra Danmarks Miljøundersøgelser og fra Fødevarerdirektoratets Institut for Fødevarer sikkerhed og Toksikologi og omfatter

- Pesticider i fødevarer og drikkevand
- Gensplejsede mikroorganismer
- Gensplejsede planter
- Antibiotika-resistente bakterier i miljøet
- Spildevandsslam i landbruget
- Forurenet jord
- Dioxiner i fødevarer
- Partikler fra trafikken

Også eksperternes rolle i forhold til borgerne/forbrugerne bliver belyst. Rapporten konkluderer, at det er eksperternes forpligtelse at frembringe den bedst tilgængelige viden og at foretage en så objektiv vurdering af risikoen som muligt af de mange kemiske stoffer, produkter og andre goder, som forbrugerne er så dybt afhængige af i det moderne samfund. Det er også eksperternes forpligtelse at fremlægge de grundlæggende antagelser, usikkerheder og muligheder for fejlvurderinger i deres arbejde.

Mange forbrugere føler afmagt over for "teknologien", "udviklingen" og "økonomien", og de trusler mod sundheden og miljøet, de kan afføde. Næst efter behovet for mad, drikke og søvn, har mennesket et basalt behov for sikkerhed. Opfattelsen af risiko kan derfor indeholde følelsesmæssige og etiske aspekter. Det er vigtigt, at eksperterne respekterer, at den videnskabeligt baserede vurdering af risikoen ikke nødvendigvis kan stå alene. Den skal tværtimod ses i sammenhæng med etiske, økonomiske, sociale og kulturelle forhold.

Det er politikernes og myndighedernes forpligtelse at sørge for love og regler, som beskytter miljøet og befolkningen. Beslutningerne baserer sig på eksperternes viden og på andre aspekter, som har betydning for samfundet. I nogle tilfælde mangler der viden, eller der er så stor tvivl og usikkerhed, at beslutningerne bliver baseret på forsigtighedsprincippet. Det afgørende i princippet er, at miljøet og den menneskelige sundhed ikke skal bære ulemperne af en adfærd, der er videnskabelig tvivl eller usikkerhed om.

Det bedste grundlag for beslutninger i samfundet bliver skabt, når eksperter og borgere/forbrugere indgår i en samtale, som fører til gensidig respekt og tillid. For at dette kan opnås, er det vigtigt, at uafhængige forskere, ikke-statslige organisationer (NGO'er) og andre interesseorganisationer, ja hele offentligheden kan kikke eksperterne over skulderen.

Litteratur

Akademiet for de Tekniske Videnskaber (1992): Risk Management and Risk Assessment in Different Sectors in Denmark, 233 sider.

Beck, U. (1997): Risikosamfundet – på vej mod en ny modernitet, Hans Reizels Forlag a/s, København, 395 sider.

Büchert, A. (1998): Pesticidrester i fødevarer 1998, FødevarerRapport 1999:13, ISBN: 87-90599-81-0, ISBN: 1399-0828

Bicheludvalget: Udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen. Rapporter fra Hovedudvalget og underudvalg. Miljøstyrelsen. Kan findes på internet: www.mst.dk.

Calow, P. (red.): Handbook of Environmental Risk Assessment and Management. Blackwell Science Ltd., Oxford, 590 sider.

Damgaard, C., Kjellsson, G., Kjær, C. og Strandberg, B. (1998): Gensplejsede planter. TEMA-rapport fra DMU, 23/1998, 37 sider.

Grandjean, P. (1998). Farlige kemiske stoffer. Sundhedsstyrelsen og Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, 174 sider.

Jensen, J. og Løkke, H. (1998): Kemiske stoffer i landbruget. TEMA-rapport fra DMU, 19/1998, 30 sider.

Kjær, C., Damgaard, C., Kjellsson, G., Strandberg, B. og Strandberg, M. (1999): Ecological Risk Assessment of Genetically Modified Higher Plants (GMHP) – Identification of Data Needs. NERI Technical Report No. 303, Danmarks Miljøundersøgelser, Silkeborg, 34 sider.

Miljøstyrelsen (1998): Forsigtighedsprincippet. Udskrift og resumé fra Miljøstyrelsens konference om forsigtighedsprincippet, Eigtveds Pakhus, København 29. maj 1998. Miljønyt nr. 31, 80 sider.

Miljøstyrelsen (1999): Godkendelse af sprøjtemidler. Miljø-tema nr. 21, 60 sider. Kan findes på internet: www.mst.dk.

Olsen, E. (1998): Risikovurdering i arbejdsmiljøet. Risiko ved langtidsudsættelse. Basisbog, Arbejdsmiljøinstituttet, Lersø Parkallé 105, 2100 København Ø, 419 sider.

Van Leeuwen, C.J. og Hermens, T.L.M. (red.) (1995): Risk Assessment of Chemicals. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland, 374 sider.

Forkortelser og ordforklaringer

ADI: Acceptabel daglig indtagelse af et giftstof gennem et helt livsforløb.

ARfD: Acceptabel Akut Reference Dosis. "ADI for akut virkning", dvs. virkning over kort tid.

Biodiversitet: Den totale mangfoldighed af liv på jorden fra det molekylære plan (genetisk diversitet) over populations- og arts-niveau (artsdiversitet) til det komplicerede samspil mellem arter i et økosystem (økologisk diversitet) og variationen mellem forskellige økosystemer (habitatdiversitet).

Biomarkør: Biologisk eller biokemisk udslag, som kan fortolkes som en eksponering for en ydre påvirkning eller en giftvirkning på en organisme.

Dioxiner: Dioxinerne omfatter 75 polychlorerede dibenzo-*p*-dioxiner (PCDD) og 135 polychlorerede dibenzofuraner (PCDF). De fremstilles ikke kommercielt, men dannes ved forbrændingsprocesser og ved forskellige industrielle processer, når chlor og organiske stoffer er til stede samtidigt. Den vigtigste kilde er affaldsforbrænding. Skovbrande regnes for en naturlig kilde til dioxiner. I 1995-96 blev udledt 45 g dioxin pr. år til luften i Danmark, ca. 75 g blev tilført med luften fra vore nabolande og 175 g blev deponeret som fast affald, bl.a. fra forbrændingsanlæg. Dioxinerne er bundet til partikler, og hovedparten lander på jord, græs og afgrøder eller i vandmiljøet. Nogle af dioxinerne nedbrydes meget langsomt i miljøet og ophobes i fedtvævet hos fisk via fødekæderne i vandmiljøet og hos fjerkræ og husdyr via foderet. Mennesker får dioxiner

fra fødevarer: 1/3 fra fisk, 1/3 fra mejeriprodukter og 1/3 fra kød, fjerkræ og æg. Se TCDD og PCB.

EC₅₀: EC = Effective Concentration. EC₅₀ er den koncentration, hvor 50% af individerne i en population af dyr, planter eller mikroorganismer påvirkes over en længere periode, fx i væksten, evnen til at få afkom eller andre variable.

Epidemiologi: Undersøgelser af grupper af personer og mønstre i forekomsten af bestemte sygdomme med det formål at belyse årsagerne til sygdommene.

FAO: Food and Agriculture Organisation. FN's verdensorganisation for fødevarer og landbrug.

GAP: Good Agricultural Practise, god landbrugsmæssig praksis.

JMPR: Joint Meeting on Pesticide Residues. Fælles møde mellem WHO og FAO's eksperter, hvor forskellige forhold ved pesticider for landbruget og sundheden bliver sammenvejet, og globale grænseværdier for pesticidrester i fødevarer bliver fastlagt.

LC₅₀: Lethal Concentration, den koncentration, hvor 50% af forsøgsorganismene dør efter et givet tidsrum.

Metabolit: Stof, som dannes ved en biokemisk ændring af et kemisk stof, oftest inde i en levende organisme.

Mikrogram: 0,000.001 gram.

Mikrometer: 0,000.001 meter.

Milligram: 0,001 gram.

MRL: Maximum Residue Level, maksimalgrænseværdi (for pesticider i fødevarer).

Nanogram: 0,000.000.001 gram.

NOAEL: No Observed Adverse Effect Level, udtryk, som anvendes af toksikologerne om det niveau af en påvirkning, hvor der ikke kan iagttages effekter.

PCB: PCB er blandinger af 209 beslægtede stoffer (congener), der siden 1929 har været anvendt i en lang række produkter, især elektriske artikler, hydrauliske væsker og transformere, på grund af deres evne til at isolere mod elektricitet og varme. Som følge af disse anvendelser er der nu en udbredt forurening af miljøet med PCB. PCB opkoncentreres i fødekæderne på samme måde som dioxinerne, og 12 af disse PCB-stoffer har dioxin-lignende effekter. Se dioxiner.

PEC: Predicted Environmental Concentration, den beregnede miljøkoncentration.

Picogram: 0,000.000.000.001 gram.

PM_{2,5}: Massen af partikler med diameter mindre end 2,5 mikrometer.

PNEC: Predicted No-Effect Concentration, det beregnede nuleffektniveau.

RQ: Risikobrøk, Risk Quotient, $RQ = PEC/PNEC$.

TCDD: Sevesodioxin, 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin. I Seveso i Norditalien i 1976 skete et udslip af store mængder af dette stof, som er et af de mest giftige kemiske stoffer. Se dioxiner.

TDI: Tolerabel daglig indtagelse af et giftstof, hvis tilstedeværelse i fødevarer er uønsket. Det gælder fx dioxiner, som er til stede overalt i miljøet. Jfr. ADI.

TMDI: Theoretical Maximal Daily Intake. Den teoretisk maksimale daglige indtagelse af rester af pesticider i fødevarer.

TU: Toxic Unit, se Boks 5.

WHO: World Health Organisation, FN's Verdenssundhedsorganisation.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljø- og Energi- ministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til: *URL: <http://www.dmu.dk>*

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Direktion</i>
Frederiksborgvej 399	<i>Personale- og Økonomisekretariat</i>
Postboks 358	<i>Forsknings- og Udviklingssektion</i>
4000 Roskilde	<i>Afd. for Systemanalyse</i>
Tel: 46 30 12 00	<i>Afd. for Atmosfærisk Miljø</i>
Fax: 46 30 11 14	<i>Afd. for Miljøkemi</i>
	<i>Afd. for Havmiljø</i>
	<i>Afd. for Mikrobiel Økologi og Bioteknologi</i>
	<i>Afd. for Arktisk Miljø</i>

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Terrestrisk Økologi</i>
Postboks 314	<i>Afd. for Sø- og Fjordøkologi</i>
Vejlsøvej 25	<i>Afd. for Vandløbsøkologi</i>
8600 Silkeborg	
Tel: 89 20 14 00	
Fax: 89 20 14 14	

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Landskabsøkologi</i>
Grenåvej 12, Kalø	<i>Afd. for Kystzoneøkologi</i>
8410 Rønne	
Tel: 89 20 17 00	
Fax: 89 20 15 14	

Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. En oversigt over DMU's publikationer og aktuelle aktiviteter kan findes på DMU's hjemmeside. Årsberetning og DMU Nyt er gratis.

Tidligere TEMA-rapporter fra DMU

- 1/1994: Kvælstoftilførsel til Limfjorden
Brian Kronvang m.fl., 16 sider, Udsolgt.
- 2/1994: Luftforurening i danske byer
Kåre Kemp og Finn Palmgren, 42 sider, Kr. 100,-.
- 3/1995: Ozon som luftforurening
Jes Fenger, 48 sider, Kr. 80,-.
- 4/1996: Tungmetaller i danske jorder
John Jensen m.fl., 40 sider, Kr. 100,-.
- 5/1996: Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer
Ulrich Karlson m.fl., 32 sider, Udsolgt.
- 6/1996: Status og jagttider for danske vildtarter
Jesper Madsen m.fl., 112 sider, Kr. 110,-.
- 7/1996: Naturens tålegrænser for luftforurening
Morten Strandbjerg og Lisbeth Mortensen, 40 sider, Kr. 60,-.
- 8/1996: Anskydning af vildt
Henning Noer m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- 9/1996: Kvælstofbelastning af havmiljøet
Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg, 40 sider, Kr. 60,-.
- 10/1996: Havets usynlige liv
Åke Hagström m.fl., 33 sider, Kr. 50,-.
- 11/1997: En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie
Jes Fenger, 64 sider, Kr. 90,-.
- 12/1997: Reservatnetværk for vandfugle
Preben Clausen m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- 13/1997: Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning
Brian Kronvang m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- 14/1997: Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici
Niels Bohse Hendriksen m.fl., 28 sider, Kr. 40,-.
- 15/1997: Kemikalier i hverdagen
Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- 16/1997: Luftkvalitet i danske byer
Finn Palmgren m.fl., 64 sider, Kr. 90,-.
- 17/1998: Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland
David Boertmann m.fl., 56 sider, Kr. 80,-.
- 18/1998: Bilisme og miljø – en svær balance
Mette Jensen m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- 19/1998: Kemiske stoffer i landbruget
John Jensen m.fl., 32 sider, Kr. 40,-.
- 20/1998: Naturen og landbruget
Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, Kr. 100,-.
- 21/1998: Skov og skovvandløb
Nikolai Friberg, 32 sider, Kr. 40,-.
- 22/1998: Hvordan står det til med naturen?
Michael Stoltze, 76 sider, Kr. 100,-.
- 23/1998: Gensplejsede planter
Christian Damgaard m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- 24/1999: Danske søer og deres restaurering
Martin Søndergaard m.fl., 36 sider, Kr. 50,-.
- 25/1999: Tropisk diversitet – skov og mennesker i Ecuador
Flemming Skov m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- 26/1999: Bekæmpelsesmidler – anvendelse og spredning i miljøet
Betty Bügel Mogensen m.fl., 64 sider, Kr. 80,-.
- 27/1999: Giftige alger og algeopblomstninger
Hanne Kaas m.fl., 64 sider, Kr. 80,-.
- 28/1999: Dyreplankton i danske farvande
Torkel Gissel Nielsen m.fl., 64 sider, Kr. 80,-.
- 29/1999: Hvor kommer luftforureningen fra?
Jytte Illerup m.fl., 32 sider, Kr. 40,-.
- 30/1999: Bundmaling til skibe – et miljøproblem
Signe Foverskov m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- 31/2000: CO₂ – Hvorfra, hvorfor, hvor meget?
Jes Fenger, 40 sider, Kr. 40,-.

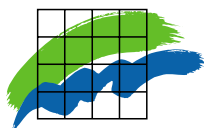
De enkelte hæfter i serien "TEMA-rapport fra DMU" beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.

Denne temarapport handler om risiko og usikkerhed set fra eksperternes synsvinkel. Emnet illustreres med eksempler fra miljøet og om fødevarer. Det er vigtigt, at eksperterne respekterer, at det står enhver frit for, om man vil acceptere en given risiko. Men det er samtidig eksperternes forpligtelse at frembringe den bedst tilgængelige viden og at foretage en så objektiv risikovurdering som muligt af de mange kemiske stoffer, produkter og andre goder, som forbrugerne er dybt afhængige af i det moderne samfund.

Det er også eksperternes forpligtelse at fremlægge de grundlæggende antagelser, usikkerheder og muligheder for fejlvurderinger i deres arbejde. Det gælder også det, man ikke ved, selv om det naturligvis er forbundet med megen vanskelighed.

Det er politikernes og myndighedernes forpligtelse at sørge for love og regler, som beskytter miljøet og befolkningen.

Det bedste grundlag for beslutningerne bliver skabt, når eksperter og forbrugere indgår i en samtale, som fører til gensidig respekt og tillid. Dette er en fremtidig udfordring for såvel eksperter som borgere og forbrugere!



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

ISBN 87-7772-555-7

ISSN 0909-8704