

VIDENSKABELIG USIKKERHED I KEMI:

Hvad er farligt?

Kemiske forbindelser, som findes i fødevarer eller produkter, vi bruger til daglig kan indebære risici for sundhed og miljø. Men hvordan afgør man, hvad der er farligt og bør forbydes og reguleres? Kan dette afgøres rent videnskabeligt, eller afhænger spørgsmålet også af værdimæssige overvejelser?

Om forfatterne:



Sara Green er adjunkt ved Institut for Naturfagernes Didaktik, Sektion for Videnskabsteori og Videnskabshistorie, Københavns Universitet. sara.green@ind.ku.dk



Claus Emmeche er lektor ved Institut for Naturfagernes Didaktik, Sektion for Videnskabsteori og Videnskabshistorie, Københavns Universitet. cemmeche@ind.ku.dk



Knud J. Jensen er professor ved Kemisk Institut, Sektion for Kemisk Biologi, Københavns Universitet. kj@chem.ku.dk

Det er vanskeligt at forestille sig vores moderne samfund uden de ting, vi har fået via kemisk videnskab. Gennem kemi er det ikke blot muligt at lære om naturens molekylære sammensætning og egenskaber, men også at syntetisere nye forbindelser. Kemien har muliggjort computere, biler, funktionelt tøj, forarbejdede fødevarer, lægemidler osv. Men samtidig med, at kemien skaber nye produkter, skabes der også nye risici. Dette rejser en række vigtige videnskabsteoretiske og etiske spørgsmål.

Kemien, og videnskaben generelt, spiller en dobbelt rolle i produktionen og afdækning af risici. På den ene side har videnskabelige frembringelser resulteret i både miljømæssige og sundhedsmæssige katastrofer. Eksempler er udslip af radioaktiv stråling, brug af kemiske våben eller utilsigtede skader på økosystemer efter sprøjtning med insektmidler. På den anden side er videnskaben et nødvendigt redskab til at forstå, forebygge og minimere risici, fordi de nye risici (som den tyske sociolog Ulrich Beck sagde)

»findes i de fysiske og kemiske formlers sfære« og derfor kræver videnskabelige undersøgelser for at blive afdækket.

Hvor vi tidligere var udsat for farer, vi kunne sansede direkte, er risici i det moderne samfund ofte "usynlige", og skadelige virkninger opdages først på lang sigt. Det gør den type risici sværere at forholde sig til. Samtidig er det svært at forudsige stoffers virkninger uden grundige undersøgelser. En ofte udtalt overbevisning er, at naturlige stoffer er uskadelige, mens kunstige, menneskeskabte stoffer er skadelige. Men mange naturlige stoffer er meget skadelige. For eksempel kan nogle bakterier producere et protein, botulinumtoksin, som er et af verdens giftigste stoffer og kan give pølseforgiftning. Ligeledes kan skimmelsvampe producere aflatoksin, som er kræftfremkaldende. Det er derfor vigtigt at undersøge effekten af både naturlige og kunstige stoffer i fødevarer. Derudover er det helt centralt at undersøge, om bestemte stoffer er giftige i den koncentration, vi med sandsynlighed vil udsættes for stofferne.

I håndteringen af risici skal videnskabelige vurderinger og deres usikkerheder også tolkes i lyset af samfundsmæssige værdier såsom sundhed og nytte af kemiske produkter. Komplexiteten i dette tvinger os til at forholde os til spørgsmålet om, hvad det er muligt for videnskaben at vide og forudsige, og i hvor høj grad spørgsmål om risici kan afgøres af videnskaben alene.

Risiko og videnskabelig usikkerhed

En videnskabelig risikovurdering er en analyse af sandsynligheden for skadelige virkninger baseret på dokumenterede sammenhænge mellem eksponering og mulige skader. Fordi risici handler om sandsynligheder for, at en (uønsket) hændelse vil optræde, vil der altid være et element af usikkerhed om, hvad effekten bliver af de forskellige handlemuligheder. Desuden er der ofte principielle vanskeligheder ved at give et klart svar på, om noget er farligt. Så hvordan skal man tage beslutninger om regulering på baggrund af ufuldstændig viden, videnskabelig usikkerhed og praktiske begrænsninger?



Foto: Colourbox.

Kosmetik, tandpasta og deodoranter kan stadigvæk indeholde mindre mængder af stoffet triclosan, men er det farligt?

I videnskabsteorien skelner man ofte mellem empirisk og teoretisk usikkerhed. *Empirisk usikkerhed* bundler i mangel på præcise måleresultater eller andre begrænsninger, eksempelvis for få, ikke-repræsentative eller usikre data. Det handler således om viden, som ikke principielt er utilgængelig, men som man ikke nødvendigvis kan fremskaffe af praktiske grunde. For eksempel er det ikke alle nye kemiske stoffer, som man tester lige grundigt – dels på grund af begrænsede ressourcer, dels på grund af overvejelser om, hvor mange dyreforsøg, der er nødvendige eller forsvarlige. *Teoretisk usikkerhed* opstår, når der er tvivl om selve den teoretiske forståelsesramme og de antagelser, videnskabens modeller bygger på. For at forstå denne type usikkerhed ser vi nærmere på diskussioner om antagelserne bag de modeller, som bruges, når man skal vurdere kemiske stoffers potentielle skadelige effekter i fødevarer.

TTC-metoden og dens begrænsninger

Avancerede kemiske analysemetoder gør det muligt at opdage og undersøge potentielt skadelige stoffer

af biologisk eller kemisk herkomst. Mange af disse er utilsigtede, eksempelvis stoffer, som transporteres fra emballagen til fødevarerne, og disse udgør en stor udfordring for lovgivende instanser som Den Europæiske Fødevarsikkerhedsautoritet (EFSA).

I risikovurderingen af utilsigtede stoffer, som forekommer i lav dosis, bruges ofte en metode kaldet Threshold of Toxicological Concern (TTC). TTC er effektiv til hurtigt at sætte en grænseværdi for kemiske forbindelser, under hvilken sundhedsskadelige effekter vurderes som relativt usandsynlige. Baggrunden for brugen af TTC er, at det ikke er muligt at teste det stigende antal ukendte forbindelser lige grundigt, da eksempelvis dyreforsøg har høje omkostninger og tager lang tid.

Rationalet bag TTC er, at viden om allerede veltestede kemiske forbindelser kan bruges til at sætte grænseværdier for strukturelt beslægtede kemiske forbindelser, som man endnu ikke har testet, og som ofte findes i meget lave koncentrationer. De nye stoffers grænseværdier vur-

deres i forhold til grænseværdierne for strukturelt beslægtede klasser (via sammenligning af de funktionelle grupper) samt estimering af den daglige eksponering for stoffet.

I fastlæggelsen af grænseværdier tages der hensyn til empiriske usikkerheder i forbindelse med ekstrapolering fra forsøg med dyr (typisk rotter) til mennesker samt for variation mellem individer. Dette gøres ved at dividere grænseværdien for den kendte type forbindelse med 100.

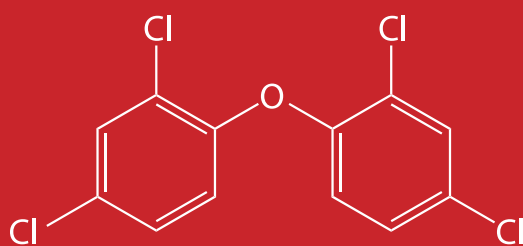
Der har imidlertid været debat om de teoretiske forudsætninger bag TTC-metoden. Det forudsættes, at mange kemiske forbindelser med lignende struktur har lignende biologiske effekter. Men der er mange eksempler på, at denne antagelse ikke altid holder. Eksempelvis er benzen kræftfremkaldende, mens det nært beslægtede toluen (methylbenzen) er meget mindre skadeligt.

Der er desuden teoretisk usikkerhed angående antagelsen om, at der er et simpelt og lineært forhold mellem dosis og respons. Under-

Debatten om triclosan

Triclosan er en polychlor-forbindelse, som virker hæmmende på bakterie- og svampevækst. Disse egenskaber gør stoffet til et effektivt konserveringsmiddel, som har været brugt i eksempelvis tandpasta, make-up og rengøringsmidler. Stoffet mistænkes for at være hormonforstyrrende og for at kunne lede til resistens hos bakterier. Triclosan er derfor blevet udfaset i en lang række produkter. Imidlertid fandt man i 2016 stoffet i kroppen på 8 ud af 10 gravide kvinder, som deltager i forskningsprojektet *Odense Børnekohorte*. I projektet følges 2538 børn, født mellem 2010-2013, til de er 18 år. Drengebørn født af kvinder med høje niveauer af triclosan havde gennemsnitligt 7 mm mindre hovedomkreds samt en kortere anogenital afstand (AGD; afstanden mellem anus og kønsorganerne). Disse to mål bruges som markører for henholdsvis hjerneudvikling og feminisering af det mandlige foster.

Umiddelbart kan disse tal lyde alarmerende, og det kan virke indly-



Triclosan

sende, at triclosan burde forbydes. Men eksemplet viser, at tolkning af videnskabelige resultater i forbindelse med vurdering og håndtering af risici langt fra er ligetil. I den konkrete sag henviste Miljøstyrelsen til, at man ikke kan udlede viden om kausale sammenhænge ud fra kohortestudier. Det er muligt, at den statistiske sammenhæng kan forklares ud fra en sammenhæng mellem triclosan og et andet stof, som triclosan ofte optræder sammen med – og som er den egentlige årsag til de observerede forskelle. Jævnfør forsigtighedsprincippet krav kan det desuden diskuteres, om mindre hovedomfang og AGD kan betegnes som “risici af en vis betydelighed”, fordi det er usikkert, om og hvordan det vil påvirke

børnenes sundhed og udvikling på længere sigt. Miljøstyrelsen henviste også til, at et forbud kan resultere i, at triclosan erstattes af andre konserveringsmidler, som vi ved mindre om. Triclosan findes i dag stadig i enkelte kosmetiske produkter og tandpasta, men er kun tilladt i meget lave koncentrationer og er helt udfaset af rengøringsmidler i Danmark. Miljøstyrelsen vurderer fortsat, at triclosan ikke skal forbydes, men anbefaler forbrugere at undgå stoffet.

Vi håber, at eksemplet – og referencerne sidst i artiklen – kan stimulere til diskussion af argumenterne fra begge sider i forhold til afvejning af kendsgerninger, usikkerheder og værdier.

søgelse af hormonforstyrrende stoffer, eksempelvis bisphenol A (BPA), som bruges i plastmaterialer til føde- og drikkevarer, peger på, at eksponering af disse stoffer i lav dosis i nogle tilfælde overraskende nok kan medføre mere skadelige effekter end ved høje doser. Dette gælder særligt ved eksponering i kritiske udviklingsfaser hos fostre. Derudover henviser den såkaldte *cocktail-effekt* til, at nogle stoffer har en ikke-additiv, eller synergistisk, effekt, når de optræder sammen. For eksempel kan et givent stof påvirke, hvor gennemtrængelig en cellemembran er, hvilket kan nedsætte den koncentration ved hvilken et andet stof kan optages i cellen og eventuelt forårsage skade.

Nogle mener derfor ikke, at TTC-tilgangen er tilstrækkelig forsigtig til at kunne tage hensyn til den type

effekter. Men hvor forsigtig bør man være, og kan videnskaben afgøre det spørgsmål?

Forsigtighedsprincippet

I diskussioner om regulering af kemikalier appelleres der ofte til det såkaldte forsigtighedsprincip. Forsigtighedsprincippet bruges ofte i daglig tale om holdningen “better safe than sorry”. Som retligt princip indenfor lovgivning indebærer princippet, at forbud mod potentielt skadelige stoffer ikke må hindres eller udsættes alene på grund af videnskabelig usikkerhed. Princippet bruges altså som juridisk begrundelse for, at der kan tages en beslutning om regulering, selvom de mulige risici ikke er helt klarlagte. Princippet kan dog kun bruges, hvis der er *videnskabelige indikationer for risici*, og hvis det drejer sig om *risici af en vis betydelighed*.

Selvom kravene til forsigtighedsprincippet kan se klare ud, opstår der i praksis ofte uenighed om, hvorvidt princippet kan bruges. På den ene side vil man ikke udsætte befolkningen for unødigt fare. På den anden side kan der være store tab for både producenter og forbrugere ved for stram regulering af kemiske stoffer med gavnlige effekter.

Debatterne handler ofte om spørgsmål om, hvorvidt kravene til forsigtighedsprincippet er opfyldt. Disse afgørelser handler ikke kun om videnskabelige fakta, men også om, hvad der overhovedet *tæller som videnskabelig evidens*, og *hvornår en risiko anses som alvorlig*. Debatten om regulering af konserveringsmidlet triclosan i Danmark illustrerer vanskeligheden ved at opnå enighed om disse ting (se boks).

Kendsgerninger og værdier

Det lyder enkelt, at videnskaben skal vurdere risici, og beslutningstagere herefter må håndtere risici. Men vurdering af risici handler i høj grad om, hvordan vi tolker videnskabelige resultater. Ud fra et ideal om en værdifri videnskab bør en risikovurdering være så objektiv som muligt. Det er for eksempel problematisk, hvis økonomiske forhold som støtte fra producenter får en forsker til at designe forsøg på en bestemt måde eller til at nedtone videnskabelige indikationer for risici. Omvendt kan man diskutere, om en helt værdifri risikovurdering overhovedet er mulig – eller ønskelig. Nogle mener, at der allerede ligger normative værdier i de modeller, vi vurderer risici ud fra, og at forsigtighedsprincippet burde spille en rolle også i udviklingen af modeller til samfundsmæssige formål.

Videnskabsfilosoffen Karim Bschr har eksempelvis kritiseret TTC-tilgangen for ikke at være tilstrækkeligt forsigtig. I TTC-tilgangen er definitionen af modellens værdier for acceptabel risiko *kvantitativt* bestemt ud fra et statistisk mål for sandsynligheden for

Cases til videnskabsteori

I en serie af artikler præsenterer undervisere i Faget Videnskabsteori læserne for videnskabsteoretiske aspekter af alle de naturvidenskabelige gymnasiefag. Vi tager udgangspunkt i cases, som vi på Institut for Naturfagenes Didaktik bruger i vores undervisning i videnskabsteori på bacheloruddannelser ved SCIENCE på Københavns Universitet.

skadelige effekter under grænseværdierne. TTC-tilgangen tager dermed ikke højde for *kvalitative* forskelle i de observerede effekter. Eksempelvis vil de fleste se meget forskelligt på en effekt efter eksponering hos 10 ud af en million eksponerede individer, afhængigt af om påvirkningen dækker over forbigående hovedpine, kræft eller misdannelser hos fostre. Alle disse vil i TTC-tilgangen ligge indenfor "det acceptable", men mon de individer, der rammes, mener det samme? Bschr appellerer derfor til en debat blandt både forskere og befolkning om, hvordan vi bør forholde os til spørgsmålet om, hvad der kan betragtes som en acceptabel risiko, og hvordan man kan sikre sig, at risikovurderingen bliver mere robust. Sidstnævnte kan eksempelvis gøres ved at udvikle og sammenligne flere

forskellige modeller, som man gør i klimaforskningen.

Et andet vigtigt spørgsmål er, hvilke krav vi kan stille til videnskabens evne til at producere sikker viden. Kemikere, der vurderer giftigheden af farlige stoffer, forventes ofte at kunne give sikre svar. Men opdagelsen af lavdosiseffekter og cocktaileffekten er eksempler på, at videnskabelig viden ofte ledsages af indsigt i en kompleksitet, som vanskeliggør simple svar. Ligeledes giver debatter om brugen af forsigtighedsprincippet indsigt i forskellige syn på, hvad der gælder som tilstrækkelig videnskabelig evidens. At forholde sig til videnskabelig usikkerhed er derfor vigtigt for at kunne forholde os til de risici, som det moderne samfund medfører. ■

Vil du læse mere?

Gregersen, P. & Nørretranders, T. (1980): Små doser – stor diskussion. *Naturkampen* 17, s. 23-29.

Om TTC

Bschr, K. (2017). Risk, Uncertainty and Precaution in Science: The Threshold of the Toxicological Concern Approach in Food Toxicology. *Science & Engineering Ethics*, 23: 489-508.

Om triclosan

Lassen, T.H., et al. (2016). Prenatal Triclosan Exposure and Anthropometric Measures Including Anogenital Distance in Danish Infants. *Environmental Health Perspectives*, 124(8): 1261-8.

Miljøstyrelsen om triclosan: <https://mst.dk/kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-stoffer/triclosan/> (tilgået 12. november 2018)

DR Sundhedsmagasinet: Hormonforstyrrende stoffer, 8. marts 2016 (tilgængelig via biblioteksarkiver).



Helt nye workshops fra Ingeniøruddannelserne

Lad os supplere din undervisning med spændende oplæg og workshops fra Ingeniøruddannelserne på SDU - enten hos os eller hos jer.

I starten af 2019 introducerer vi tre helt nye workshops.

Lær Scrum med Lego

Eleverne får i denne workshop kendskab til den anerkendte agile metode Scrum, som er en arbejdsform, der ofte anvendes til styring af teknologiske projekter.

Fra matematiske formler til fysiske robotbevægelser

I denne workshop vil eleverne med anvendelse af matematik og geometriske dynamikker få en tegnerobot til at tegne efter et datasæt med koordinater, som de selv har udledt.

Anvendelse af statistik ved programmering

Eleverne vil i denne workshop opnå en introducerende forståelse for implementering af kode, programkørsel og opsætning af datasæt. De vil ligeledes få en systematisk forståelse for den statistiske metode.

Se Ingeniøruddannelsernes store udvalg af tilbud til gymnasieklasser på:

www.sdu.dk/tek/brobygning