

// Det spejlvendte menneske

Et tveægget sværd

Kemi er for mange, og med god grund, forbundet med fagets uheldige sider. De fleste kæder kemi sammen med sprøjtede mandariner, ukrudtsfjernere som Roundup eller skadelig kemi i børnenes legetøj. Og verdens nok mest udskældte molekyle er kuldioxid. Der er masser af grunde til at opfatte begrebet negativt. Men alt er kemi – mennesker, dyr, plastik og tagpap. Og moderne teknologiske fremskridt går hånd i hånd med kemiens udvikling.

Kemi spiller en hovedrolle i at løse udfordringer som klimaforandringer og forurening i samfundet. Samtidig skylder vi kemien en tak for vores høje levealder. Kemikere har udviklet medicin til behandling af både infektionssygdomme og kræft. For slet ikke at tale om deres forarbejdnings af molekyler i naturgas, som beriger vores boliger med alt fra margretheskåle til plastikbøtter, bordplader og fladskærme.

Kemi er også et helt centralt fag for Danmarks økonomi. Mange af vores store eksportvirksomheder som Novo Nordisk, Novozymes, Lundbeck, Haldor Topsøe og Leo Pharma er baseret på kemi. Andre virksomheder som Arla, Velux, Carlsberg og Vestas og et hav af mindre virksomheder er dybt afhængige af, at vi uddanner kemikere på højt niveau, som bidrager til udvikling af medicin, fødevarer og vindmøller.

Som kemiker har jeg en mulighed for at udbrede kendskabet til kemiens tveæggede sværd. Det lærte jeg tidligt i min karriere. I 1985 rejste jeg til Cornell Uni-

Christoffer Wilhelm Eckersbergs maleri *Kvinde foran spejl* fra 1841 hænger på Den Hirschsprungske Samling i København. Værket inviterer beskueren til at overveje, hvad eller hvem vi ser, når vi betragter vores eget spejlbillede.
// Den Hirschsprungske Samling

versity i New York, hvor jeg havde fået et forskningsophold hos kemiker og Nobelpristager Roald Hoffmann. Hoffmann er født i Polen i 1937 og et af de få jødebørn, der overlevede nazisternes rædsler under Anden Verdenskrig, da det lykkedes ham og hans mor at flygte fra en arbejdslejr. Efter krigen rejste Hoffmann til USA og begyndte sin videnskabelige karriere. For os begge blev rejsen til USA afgørende for vores forskerliv.

Hoffmanns forskning banede vejen for, at vi i dag forstår, hvorfor molekyler ser ud, som de gør, og hvorfor de reagerer, som de gør. Med afsæt i hans resultater har kemikere fremstillet alt fra syntetisk vitamin B₁₂ til nye former for antibiotika og bæredygtig transport af energi. Men han står også bag populærformidling som tv-serien *The World of Chemistry with Roald Hoffmann* på den amerikanske Public Broadcasting Service og bogen *The Same and Not the Same* om dualiteten under kemiens overflade, der er oversat til fem sprog og modtog den tyske kemiindustri litteraturpris i 1997. Sammen med p-pillens fader, den amerikanske kemiker Carl Djerassi, skrev han også teaterstykket *Oxygen*, som er oversat til 18 sprog.

I min egen forskning har jeg forsøgt at udvikle nye og mere bæredygtige kemiske reaktioner. Jeg arbejder med at udvikle fremstillingsmetoder til molekyler, som kan optræde som spejlbilleder af hinanden. Denne forskning har fundet vej ud i den kemiske industri til mere effektiv og mere miljøvenlig fremstilling af blandt andet medicin. Piller til behandling af migræne med et mindre spor af affald efter sig for eksempel. Men hvis vi skal forstå molekyler, der kan optræde som spejlbilleder af hinanden, skal vi starte med at kigge ind i os selv og ud i naturen.

Efterab naturen

Mennesker består af et helt ufatteligt stort antal molekyler. Skulle en kemiker bygge en ung teenager på 45 kg, ville det kræve en kasse med cirka 1×10^{27} molekyler. Et tal med hele 27 nuller efter 1-tallet. Cirka



60 % af molekylerne skulle være vandmolekyler. Andre molekyler i kassen skulle være proteiner, fedtstoffer, kulhydrater og hydroxyapatit, som knoglerne er opbygget af. Selv om teenageren består af mange forskellige molekyler, udgør kun seks grundstoffer 99 % af pubertetsbarnets vægt: oxygen, kulstof, hydrogen, nitrogen, kalcium og fosfor. Hos mennesker sker dannelsen af de livsvigtige molekyler helt af sig selv, så der med tiden vokser en ægte teenager med musik i ørerne frem.

Naturens kemi er uovertruffen, og alle dens reaktioner er udviklet til perfektion gennem milliarder af år. Når solen rammer de lysegrønne bøgeblade i foråret, starter en ældgammel kemisk proces, som sandsynligvis har fundet sted i mere end 3,7 milliarder år. Den hedder fotosyntesen og er ikke kun den vigtigste proces på kloden, den er også en af de ældste. Med hjælp fra

Fotosyntesen i planternes blade omsætter kuldioxid og vand til kulhydrater og danner det livgivende ilt som affaldsprodukt.
// Vaclav Volrab/Alamy Stock Photo

solen omdanner planter kuldioxid og vand til kulhydrater, der enten direkte eller indirekte er energigrundlaget for næsten alle økosystemer. Intet går til spilde i naturen, og affaldsproduktet er O_2 , bedre kendt som ilt, som er det molekyle, vi mennesker optager fra lungerne, når vi trækker vejret, og som blodet bringer rundt i kroppen til alle vores celler.

Naturens mangfoldighed er baseret på dens evne til at styre kemiske reaktioner som fotosyntesen og kun danne lige præcis de molekyler, der er brug for. Meget af den grønne og bæredygtige kemi, som kemikere udvikler i laboratorierne i disse år, efterligner naturens principper i håb om at gøre fremtidens produkter mere bæredygtige, mindre miljøbelastende og med for eksempel færre medicinske bivirkninger. Men hvis vi skal efterligne naturen, skal vi kende den.

Kemi handler om molekyler, og molekyler består af atomer, der holdes sammen ved hjælp af kemiske bindinger. Atomer har en kerne med protoner og neutroner. Protoner har en positiv ladning, hvorimod neutroner er uden ladning. Omkring atomkernen svæver de negativt ladede elektroner, som holdes fast til atomkernen af protonernes positive ladning. Kemiske bindinger er elektroner, der finder sammen i et fællesskab, og molekyler dannes ved kemiske reaktioner, når elektroner finder sammen i nye fællesskaber. Uanset om de foregår i en teenager, et bøgetræ eller et kemisk laboratorium.

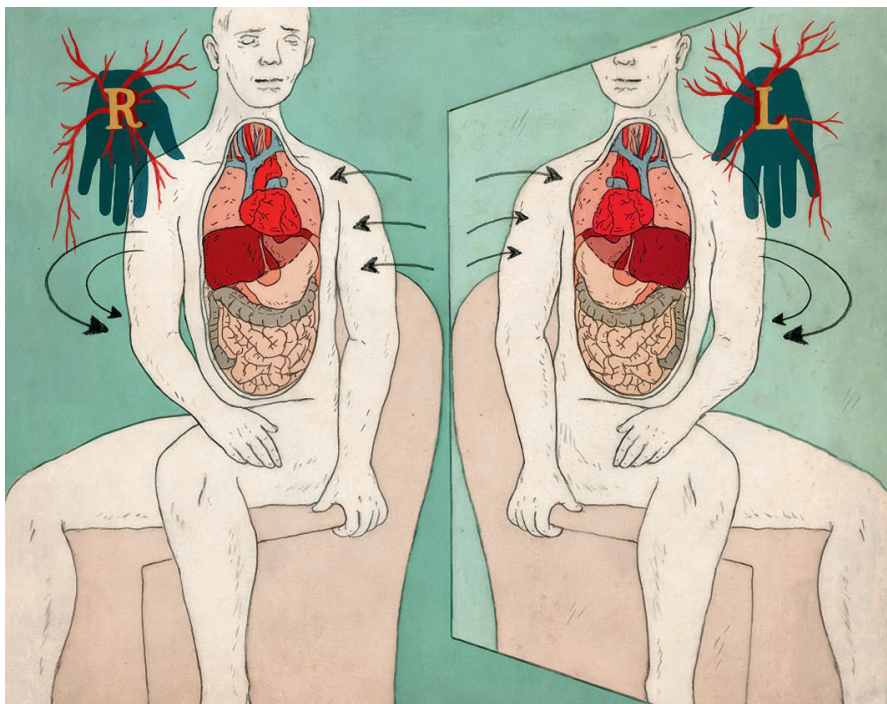
Lille spejl på væggen der

Når vi står foran spejlet om morgenen med tandbørsten i munden, er det en træet og spejlvendt udgave af os selv, vi betragter. Blinker vi med venstre øje, blinker spejlbilledets højre øje tilbage. Vinker vi med højre hånd, hilser spejlbilledet med venstre hånd. Og hvis vi kunne lyne op og kigge ind i os selv, ville vi se, at de indre organer også ændrer plads i spejlet.

Alle organer er nøje afstemt i forhold til hinanden. Venstre lunge er mindre end den højre for at give plads

til hjertet i venstre side af brystet, og hovedpulsåre og blodårer er ligeledes placeret, så de passer ind i den asymmetriske krop. Den venstre nyre sidder højere oppe end den højre og er normalt den største. Leveren og galdeblæren finder vi i højre side, hvorimod milten sidder i venstre halvdel. Mavesækken ligger også i venstre side af kroppen og er forbundet med tarmen i højre side. Hos mænd er den højre testikel normalt størst og placeret højest.

I spejlet bytter ydre som indre plads, men vores asymmetri kommer også til udtryk på andre måder: De fleste mennesker er højrehåandede og har en bedre lugtesans i højre næsebor end venstre næsebor. Og mennesker er ikke de eneste asymmetriske væsner. Også hunde, katte, køer og krokodiller – for bare at nævne nogle – har alle hjertet i venstre side af kroppen.



Kroppens organer er spejlvendte, ligesom vores højre hånd bliver til venstre hånd i spejlet. 1 ud af 10.000 mennesker er født med spejlvendte organer. Tilstanden hedder *situs inversus*.
// Jonathon Rosen

Men hvorfor eksisterer mennesker, kryb og firbenede væsner kun i én spejlbilledform?

Vi skal tilbage til molekylerne, som også kan optræde som spejlbilleder af hinanden. Præcis ligesom vores venstre hånd er et spejlbillede af højre hånd. De er ens, og så alligevel ikke. Vores hænder er tredimensionelt forskellige. Det kan vi let overbevise os selv om ved at lægge den ene hånd over den anden med håndfladerne nedad: Hænderne dækker ikke hinanden – den ene hånds lillefinger flugter med den anden hånds tommelfinger. Vores højre hånd passer som hånd i en højrehåndshandske, mens højre fod passer som fod i hose med højre sko.

Holder man en model af et molekyle op foran et spejl, kan molekylet i spejlet være forskelligt fra det i hånden. Molekylet er asymmetrisk. De asymmetriske molekyler styrer mange kemiske reaktioner i kroppen, men vi finder kun den ene spejlbilledform af molekylerne i mennesker. Og det er højst sandsynligt derfor, vi lever som asymmetriske væsner, der kun optræder i én spejlbilledform. Men der er altid undtagelser.

Spejlvendt indeni

I 1835 døde englænderen John Reid i en alder af 48 år. Han levede et liv uden store helbredsmæssige problemer, og dødsfaldet var derfor uventet for Reids læge, den unge Thomas Watson, som senere blev læge for den engelske dronning Victoria. Watson foretog derfor en obduktion af Reid. Til sin store overraskelse opdagede han, at Reids hjerte sad i den forkerte side af brystet, at leveren sad i venstre side, og at alle de øvrige indre organer også var spejlvendte.

Da Watson præsenterede sin opdagelse på et møde for kirurger i London i 1836, fortalte en af de mest fremtrædende engelske kirurger på daværende tidspunkt, Sir Astley, at han kort forinden havde obduceret den 73-årige kvinde Susan Wright, som også viste sig at være fuldstændig spejlvendt indvendig. Fænomenet er i dag kendt under navnet *situs inversus*, men for både

Watson og Sir Astley var de spejlvendte mennesker en gåde – ikke mindst fordi både Reid og Wright mod forventning var højrehådede.

Situs inversus er en arvelig tilstand og rammer én ud af 10.000 personer. Mange James Bond-fans kender måske allerede *situs inversus* fra Ian Flemings sjette bog, *Dr. No*, der udkom i 1958. I bogen stjæler skurken Dr. No en million dollars i guld fra det kinesiske syndikat Tong, som skyder ham i venstre side af brystet. Til alt held sidder Dr. Nos hjerte i højre side af brystet, og han overlever. Det gør han til gengæld ikke, da han afslører sit spejlvendte indre for James Bond.

Situs inversus er også navnet på den sidste mission i Hitman-spillet fra 2016, hvor antagonisten Erich Soders' organer er spejlvendte. Da han får behov for en hjertetransplantation på et højteknologisk japansk hospital, overvejer lægerne at dræbe ham ved at indsætte et normalt hjerte, som han umuligt kan overleve med.

Tilstanden *situs inversus* er normalt ikke noget problem, fordi de indre organer og deres placering er indrettet derefter. Men andre mennesker lider af *situs ambiguus*, også kaldet isomerisk defekt eller heterotaksi. Hos dem forsøger kroppen i fosterstadiet at blive symmetrisk ved at danne organer med to venstre- eller højresider. Personer, der på denne måde er mere symmetriske end normalt, kan have alvorlige problemer med hjerte, lunger, mave og tarme. Sygdommen er så kritisk, at nogle nyfødte børn ikke overlever. Deres blodkar til og fra hjertet kan sno den gale vej i forhold til hjertets form, så blodets turbulens er forkeret, og hjertet fungerer ikke efter hensigten.

Både Watson og Sir Astley havde nok forventet, at personer med *situs inversus* ville være venstrehådede. Watson overvejede, om det at være højrehådet kunne være kulturelt betinget, men kom til den konklusion, at vores foretrukne hænder er af biologisk oprindelse. Mere moderne undersøgelser har bekræftet, at personer med *situs inversus* overvejende er højrehådede.



I 1950'erne lavede den norske læge og professor i anatomi Johan Torgersen røntgenundersøgelser af tuberkulosepatienter. Da tuberkulose typisk forekommer i lungerne, fik han taget røntgenbilleder af patienterne, som også viste hjertets placering. På baggrund af røntgenbillederne undersøgte Torgersen, hvor mange af patienterne der havde *situs inversus*.

Ud af 998.862 personer havde 122 *situs inversus*, og det svarer til cirka 1 ud af 10.000. Torgersen kendte til yderligere 70 personer med *situs inversus*. Kun 11 af de 192 personer med *situs inversus* var venstrehådede, og det er samme størrelsesorden, som gør sig gældende for personer med hjertet i den normale side. Torgersen fandt altså ikke en forøget hyppighed af venstrehådede hos personer med *situs inversus* sammenlignet med personer, hvor hjertet er placeret i venstre side af brystet.

Med venstre hånd

Menneskets asymmetri kommer tydeligst til udtryk ved, at de fleste af os er højrehådede. *Homo sapiens'* forfader, *Homo habilis*, var også højrehåndet. Fund af tænder fra *Homo habilis* viser slidmønstre, som indikerer, at de ligesom os brugte en slags tandstikkere til at fjerne madrester mellem tænderne. Slidmønstrene afslører, at *Homo habilis* primært holdt tandstikkerne i højre hånd. Menneskearten har altså været højrehåndet i mindst to millioner år.

Fund af mange tusinde år gamle skeletrester viser, at knoglerne bærer tegn på, at personen har brugt højre hånd oftere end venstre hånd, mens 500.000 år gamle hulemalerier afslører, at vores forfædre foretrak at bruge højre hånd til at male med. Håndaftryk i hulemalerier stammer primært fra venstrehænder og tyder på, at vores forfædre malede med højre hånd, mens de støttede sig til klippesiderne med venstre hånd og efterlod et håndaftryk til nysgerrige, fjerne slægtninge.

I dag er cirka 10 % af den danske befolkning venstrehådede. Lidt flere mænd end kvinder har hang til

I Ian Flemings sjette bog, *Dr. No* fra 1958, om agent 007 overlever skurken Dr. No et snigskytteangreb, fordi han er født med spejlvendte organer, så hans hjerte sidder i højre side. Normalt sidder hjertet i venstre side af kroppen.

// PictureLux/The Hollywood Archive/Alamy Stock Photo