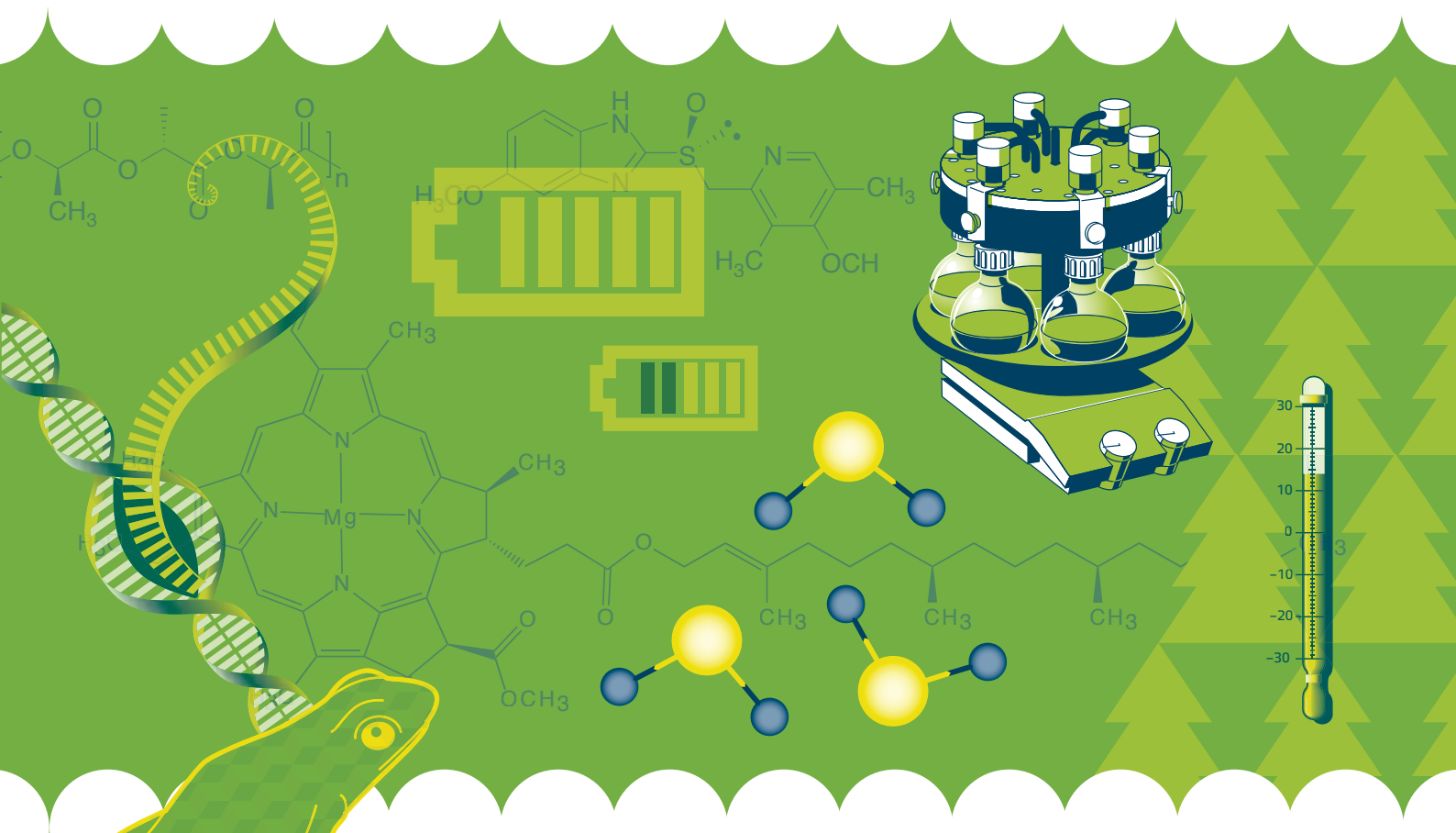


KEMI

– den gränslösa vetenskapen



EN BOK MED FAKTA OCH FRÅGESTÄLLNINGAR
FRÅN KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN OCH
KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

KEMI

– den gränslösa vetenskapen

EN BOK MED FAKTA OCH FRÅGESTÄLLNINGAR
FRÅN KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN OCH
KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

Med denna bok vill KVA:s klass för kemi och IVA:s avdelning för kemiteknik belysa den roll som kemin spelat och spelar för utvecklingen inom naturvetenskap, teknik och medicin och hur kemin bidrar till bättre levnadsförhållanden. En lång rad experter, ledamöter av KVA och IVA såväl som andra, har bidragit med texter till boken.

.....

PROJEKTGRUPP

Christina Moberg, KTH, ledamot av KVA och IVA
Bengt Nordén, Chalmers, ledamot av KVA och IVA
Torbjörn Norin, KTH, ledamot av KVA och IVA
Olov Sterner, Lunds universitet
Torbjörn Frejd, Lunds universitet, ledamot av KVA

TEXTBIDRAG

Gunnar Agfors, ledamot av IVA
Ann-Christine Albertsson, KTH, ledamot av IVA
Bo Albinsson, Chalmers
Bertil Aronsson, ledamot av KVA
Tamas Bartfai, Scripps Research Institute, ledamot av KVA
Alf Claesson, AstraZeneca
Måns Collin, ledamot av IVA
Gia Destouni, Stockholms universitet, ledamot av KVA
Thomas Elebring, AstraZeneca
Ann-Charlotte Eliasson, Lunds universitet
Cecilia Emanuelsson, Lunds universitet
Hans-Jürgen Federsel, AstraZeneca, ledamot av IVA
Ingmar Grenthe, KTH, ledamot av KVA och IVA
Anders Hagfeldt, Uppsala universitet, ledamot av IVA
Anne-Marie Hermansson, Chalmers, ledamot av KVA och IVA
Gisela Holm, AstraZeneca
Eva Jakobsson, AstraZeneca
Sven Kullander, Uppsala universitet, ledamot av KVA
Ragnar Larsson, Lunds universitet
Sven Lidin, Lunds universitet, ledamot av KVA
Oliver Lindqvist, Göteborgs universitet
Hans Lingnert, SIK
Sture Nordholm, Göteborgs universitet, ledamot av KVA
Tobias Rein, AstraZeneca
Lena Ripa, AstraZeneca
Henning Rodhe, Stockholms universitet, ledamot av KVA
Ann-Sofie Sandberg, Chalmers
Britt-Marie Sjöberg, Stockholms universitet, ledamot av KVA
Sara Snogerup Linse, Lunds universitet, ledamot av KVA
Håkan Wennerström, Lunds universitet, ledamot av KVA
Lars Wågberg, KTH
Per Åman, SLU
Lars Ödberg, KTH

FÖLJANDE HAR LÄST OCH KOMMENTERAT

Lars Eriksson, Carl Rolff, Gunilla Gröndahl Tyllström
och Per Unckel

Projektgruppen vill också tacka alla kollegor, vänner
och familjemedlemmar som kommit med värdefulla
synpunkter och bidragit till arbetet med boken.

EKONOMISKA BIDRAG

Perstorp AB
Akzo Nobel AB
Kungl. Fysiografiska Sällskapet i Lund
Sven och Dagmar Saléns Stiftelse
Wenner-Grenstiftelserna
Kungl. Tekniska högskolan
Chalmers tekniska högskola

REDAKTÖR

Andreas Nilsson

GRAFISK FORM OCH ILLUSTRATION

AB Typoform

TRYCK

Billes tryckeri AB, Mölndal 2011

INNEHÅLL

- 5 FÖRORD

- 6 KEMI, VADÅ? VART ÄR VI PÅ VÄG?
 - Lösningar på miljöproblem 6
 - Jakt på nya energikällor 6
 - Hälsa, medicin och livsmedel 8
 - Nya material – ledande plast och molekyl-mekano 9
 - Ekonomi och arbetstillfällen 9

- 12 VAD ÄR KEMI?
 - Vad är en molekyl? Vad är en kemisk reaktion? 13
 - Hur uppkom livet? 14
 - Den vetenskapliga metoden 15
 - Vad kan vetenskapen bidra med? 16

- 18 KEMINS ROLL I MÄNSKLIGHETENS MILJÖUTMANINGAR
 - Hur kan vi minska vår miljöpåverkan? 19
 - Grön kemi för mindre avfall, energiåtgång och utsläpp 22
 - Vatten – både överflöd och bristvara 24
 - Luft – ett lätt element vi inte kan vara utan 26
 - Hur påverkar människan klimatet? 30

- 32 KEMI HJÄLPER OSS HUSHÅLLA MED VIKTIGA RESURSER OCH RÅVAROR
 - Jordens resurser som kemiska kretslopp 33
 - Vad händer när oljan tar slut? 35
 - Metaller 36
 - Skogen som råvara 39
 - Bättre livscykelanalyser ett viktigt verktyg 40

- 44 NYA MATERIAL SOM ÄR SMARTA, SNÅLA OCH STARKA
 - Polymera material 45
 - Träfibrer ger gröna material med nya funktioner 49
 - Kompositer erbjuder det bästa av två världar 50
 - Nanoteknik – den mikroskopiska världens lego 51
 - Hur ser framtidens elektronik ut? 54

- 58 ENERGI – FRÅN FOSSIL TILL FRAMTID MED KEMINS HJÄLP
Kemi en grund för morgondagens energi 59
Energieffektivisering – att få ut mer ur mindre 59
Vindkraft och vågkraft 60
Vattenkraft 61
Kärnkraft 61
Bioenergi och biobränslen 62
Kan vi klara oss utan fossila bränslen? 62
Solenergi det mest lovande alternativet 65
Bränsleceller ger effektiv elenergi 69
Är vi på väg mot ett vätgassamhälle? 69
Laddad kemi för vår rörliga tillvaro 70
- 72 MATNYTTIG KEMI FÖR FRAMTIDENS LIVSMEDEL
Matlagning – en kemisk kökskonst 73
Kemin som ger maten struktur 73
Fem smaker och tusentals lukter 74
Vad händer när man lagrar maten? 76
Mat för hälsa eller ohälsa 79
Många saker påverkar hur nyttig maten är 81
Hur ska vi föda alla i framtiden? 82
Kemi för en hållbar livsmedelsproduktion 83
- 86 KEMI – GIFTIGT ELLER NYTTIGT, NATURLIGT ELLER ONATURLIGT?
Regleringar hoppas kunna hitta farliga ämnen 87
Naturen är den bästa giftmakaren 89
Naturligt eller onaturligt 91
- 94 LÄKEMEDEL FÖR ETT BÄTTRE LIV
Stora framgångar – men problem kvar att lösa 95
Varför är läkemedel så dyra? 95
Måste läkemedel ha biverkningar? 99
Individanpassade läkemedel – effektiva men dyra 100
Ökande intresse för miljöeffekter av läkemedel 101
Tidigare upptäckt av sjukdomar viktig 102
Vilka är framtidens läkemedel? 104
Vilka är läkemedelsindustrins utmaningar? 106
Hur kan forskningen riktas mot områden där den gör mest nytta? 106

FÖRORD

Kemi – handlar inte det bara om farliga ämnen och onödiga tillsatser? Det är kanske bilden många har av kemi, men faktum är att utan kemi skulle vi inte ha det höga välstånd vi har i dag. Tack vare kemisk kunskap har vi tillgång till läkemedel som botar sjukdomar och lindrar smärta – med hjälp av syntetiska antibiotika kan infektionssjukdomar som tidigare var dödliga botas, magsår kan behandlas utan dyra och plågsamma operationer och många cancerformer kan framgångsrikt behandlas med syntetiska preparat. Konstgödsel och medel som hindrar skadeinsekter gör att skördar kan ökas och svälten i världen därigenom begränsas. Tack vare kemin har vi även tillgång till alla de material vi behöver för att tillverka allt från kläder, rengöringsprodukter och kosmetika till bilar, TV-apparater och reservdelar till kroppen. Det är genom kemisk syntes vi kan framställa dessa och alla de övriga produkter vi behöver för vårt dagliga liv och det är kemin som visar vägen till hållbar produktion som utnyttjar förnybara råvaror och ger minimala mängder avfall. Kemisk kunskap är också oundgänglig för utveckling av nanoteknik och medicinsk diagnostik och andra till kemin angränsande områden. Kemin bidrar alltså till att finna lösningar till många av de komplexa globala problem vi står inför: hälsa, klimat, brist på råvaror, utnyttjandet av nya energikällor och tillgång till livsmedel för att föda jordens ökande befolkning.

DET ÄR OM ALLT DETTA DEN HÄR BOKEN HANDLAR.



KEMI, VADÅ? VART ÄR VI PÅ VÄG?

DEN HÄR BOKEN är inte avsedd som en lärobok i kemi, men den kan ge dig en rikare bild av vad kemin betyder och hur den finns överallt omkring oss, för att inte säga inom oss. Det finns många exempel på vikten av kemi för vårt vardagliga liv, och vi vill visa att det är viktigt att alla samhällsmedborgare (inte minst politiker) sätter sig in i kemiska frågeställningar och konsekvenser vad gäller miljö, resurser, material, medicin, livsmedel och energi. Det kan gälla en så enkel sak som att känna till att ämnen som finns i vår natur ofta är betydligt giftigare än det giftigaste ämne som någonsin framställts i ett laboratorium. Vi ger oss också på ett försök till utblick mot framtiden: vad kan vi egentligen vänta oss vad gäller forskning och andra kemiska aktiviteter och hur kommer dessa att påverka vår hälsa, vår miljö och vår ekonomi i ett länge perspektiv?



Lösningar på miljöproblem

Kemisk kunskap och forskning erbjuder några av de redskap som krävs för att åtgärda dagens miljöproblem. Det gäller allt från hur vi ska minska luftföroreningar och motverka globala effekter av växthusgaser, till hur vi ska hushålla med naturresurser, återvinna råvaror samt skapa global tillgång till dricksvatten.

Den ökning av koldioxid som anses vara en av orsakerna till global uppvärmning är delvis orsakad av förbränning. Hur stora mängder koldioxid som förbränningen ger upphov till kan vi ganska exakt räkna ut från kunskap om mängden förbrukad olja, naturgas, kol och ved. Vad vi däremot inte hittills kunnat beräkna med någon större noggrannhet är konsekvenserna, eftersom atmosfären, biosfären och världshaven är så oerhört komplexa system. Även om atmosfärkemiska modeller i grova drag kan förklara observerade samband, kan man inte utesluta att även små jämviktsförskjutningar i framtiden skulle kunna leda till accelererande förlopp – till exempel kan utsläpp av den kraftiga växthusgasen metan från tidigare ständigt frusna sumpmarker som tinar upp förväntas höja temperaturen ytterligare. Innan vi förstår vad som verkligen sker i detalj måste vi därför handla efter ett ”worst case”-scenario och göra allt vad vi kan för att begränsa våra utsläpp av koldioxid och metan – och även här har kemi en viktig roll i bland annat utvecklingen av energisnål teknik och nya energikällor.

Jakt på nya energikällor

Det råder knappast politisk oenighet om att vi måste ta ett samlat grepp på energiförsörjningen, eftersom förbränning av kolväte-

bränslen står för en rad allvarliga miljöeffekter, såsom utsläpp av koldioxid, svaveldioxid och kväveoxider. Också det faktum att tillgången på fossila bränslen är begränsad gör det viktigt att utveckla hållbara alternativ. Alternativen till förbränning av kolvätebränslen är energi från vattenkraft, vindkraft, solenergi, kärnkraft eller förbränning av vätgas.

Den ojämna tillgången till vindkraft och avsaknaden av lagringsmöjligheter kräver att annan energi – i Sverige vattenkraft – hela tiden finns beredd att med kort varsel ersätta plötsliga bortfall, vilket sätter en övre gräns för vindkraftens utbyggnad. Vattenkraften är om man räknar per effekt den miljövänligaste energiformen vi har i Sverige.

Vätgas är miljövänligt eftersom bara vatten bildas då den förbränns och förenar sig med syre, till exempel i värmekraftverk eller för att generera el i en

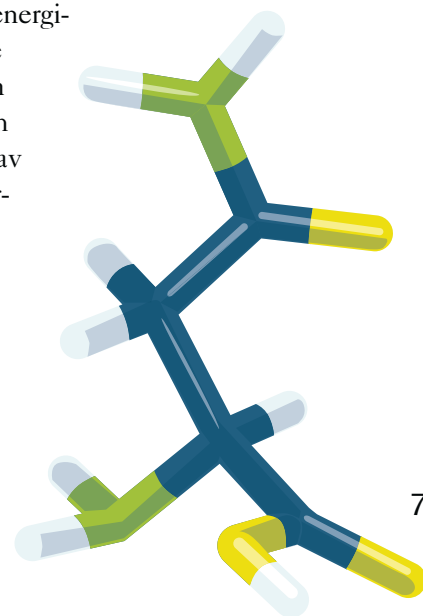
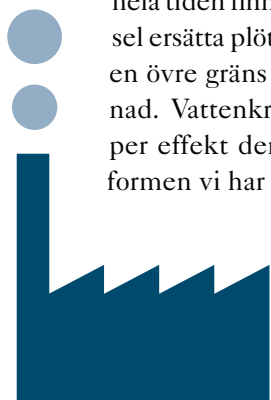
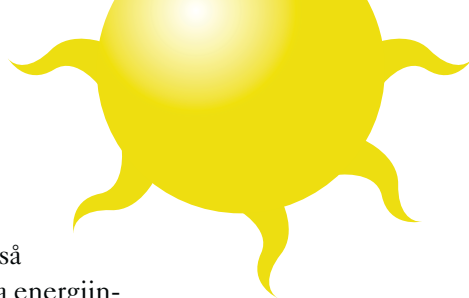
bränslecell. Vätgas kan också användas för att lagra energi, kanske i ett soldrivet kraftverk i Sahara där vätgas skulle kunna produceras på dagen. Då kan den antingen generera el på natten när solen inte lyser eller transporteras vidare för förbrukning på annan ort. En attraktiv möjlighet är att kombinera vätgasen med koldioxid från atmosfären för att generera metanol eller andra därigenom koldioxidneutrala kolvätebränslen, till exempel för flygplan och bilar.

Av olika skäl kommer kolvätebränslen – men inte nödvändigtvis av fossilt ursprung – att behövas under överskådlig framtid. Det gäller flyget, liksom även vägfordon eftersom utvecklingen av batterier och elbilar med längre operationsradie låter vänta på sig. Jämte den nämnda möjligheten

att framställa koldioxidneutralt kolvätebränsle ur vätgas och koldioxid, finns också möjligheten att utnyttja energinnehållet i växter ("biomassa") som ju genom fotosyntesen tagit upp samma mängd koldioxid ur luften som kommer att bildas när de förbränns. Två aspekter som dock gör biobränslen mindre intressanta är att koldioxid också bildas som biprodukt vid tillverkningen. Biobränslegrödor får heller inte konkurrera med produktionen av livsmedel.

Solenergi är jämte vattenkraft den miljövänligaste energikällan av alla, men på våra latituder är effektiviteten per yta solfångare låg. Storskaliga solkraftverk på lämpligare platser skulle kunna generera ånga för att driva traditionella elturbiner eller för att splittra vatten i vätgas och syre. Det är en inte minst politisk utmaning att stimulera internationellt samarbete där svensk kraftindustri kan spela en viktig roll i att bygga solkraftverk i exempelvis länder vid Medelhavet, varifrån antingen el eller vätgas kan levereras till Sverige. En förhållandevis liten yta (en kvadratmil) skulle räcka för Sveriges hela elenergibehov. I liten skala kan också olika typer av solceller ge elenergi till belysning och elektronik.

Flertalet energikällor involverar kemi, direkt eller indirekt. Undantag är vattenkraft och kärnkraft där de energialstrande processerna inte är kemiska. Dock finns en rad kemitekniska problem förknippade med driften av kärnkraftverk, såsom bearbetning av uranmalmer, bränsleupparbetning, anrikning av bränslet samt rening och slutförvar av utbränt bränsle.



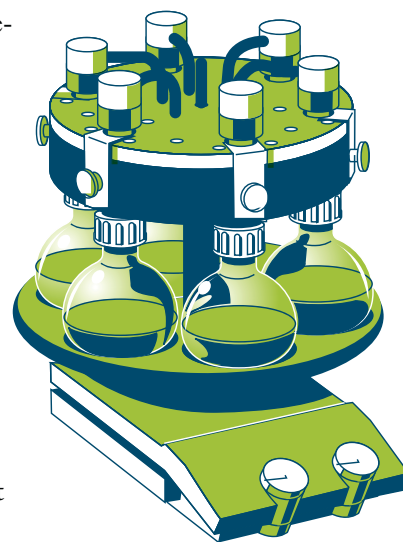
Hälsa, medicin och livsmedel

De livsprocesser som styr olika funktioner i vår kropp utgörs av ett mycket stort antal kemiska reaktioner mellan olika molekyler i cellerna. I motsats till de kemiska reaktioner vi kanske tänker på från skolans provrör, vilka efter ett tag avstannar eller når jämvikt, är reaktionerna i en levande cell ständigt ”på språng”. Man kan likna det biologiska systemet vid en maskin: genom tillförsel av kemisk energi (föda) hålls reaktionerna i gång och exempelvis mekaniskt arbete kan utföras i musklerna. Cellen använder också energi för att tillverka nya proteiner eller andra cellkomponenter samt kemiska föreningar (såsom fett) för energilagring inför dagar utan mat. Också tankeverksamhet i hjärnan kräver avsevärd kemisk energi.

Vår hälsa är beroende av att livsprocesserna löper som de ska på ett kontrollerat sätt – obalanser eller fel i livets kemi ger upphov till sjukdomar. Inom medicinen söker man förstå de molekylära orsakerna till de olika sjukdomstillstånden för att kunna behandla dem med läkemedel. De kan bota eller lindra effekterna av ett sjukdomstillstånd genom att gripa in i de kemiska reaktioner som inte fungerar som de ska. Läkemedel är i allmänhet förhållandevis små molekyler – jämfört med proteiner och andra biologiska makromolekyler – och deras funktion är ofta att binda sig till ett visst

protein varigenom obalansen eller funktionsfelet korrigeras. Många läkemedel har som mål att döda andra celler såsom bakterier (antibiotika) eller cancerceller (cytostatika). Ett problem med antibiotika är att en bakteriestam ibland visat sig kunna utveckla resistens mot ett visst antibiotikum. Ett annat problem är att virus – såsom HIV – inte kan behandlas med antibiotika på samma sätt som bakterier. Dessa och andra utmaningar gör att det ständigt ställs allt högre krav på dagens läkemedelsindustri när det gäller att finna nya strategier för utvecklingen av mediciner mot nyupptäckta sjukdomar eller av mera potenta mediciner mot redan kända. Samtidigt ställs också högre krav på säkerheten, att biverkningarna ska vara obetydliga eller helst inga alls. Detta gör att tiden för utveckling av läkemedel blir längre, och de få kemikalier som till slut når målet och blir godkända att användas i klinik, blir genom den ökande utvecklingskostnaden allt dyrare.

Utvecklingen av läkemedel utgör en stark bransch i Sverige där det vid våra universitet finns en tradition av framstående medicinsk vetenskap och också stark kemisk forskning. Den svenska framgången beror på en kombination av olika



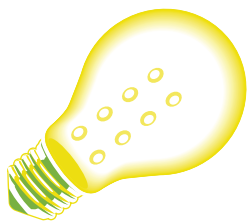
kemiska insikter: dels den molekylärbiologiska förståelsen av hur ett läkemedel fungerar på cellnivå, dels den kemiska kunskapen kring hur läkemedlet ska designas och syntetiseras för att nå sitt mål.

Kemi arbetar också i medicinens tjänst genom att utveckla nya diagnostiska ämnen – inte minst inom gendiagnostiken – men också genom att ta fram avancerade strategier för terapi på gennivå: det kan handla om molekyler som man designat för att likt målsökande robotar kunna ta sig in i vissa cellers kärnor med en viss gen som slutmål. Robotmolekylen kan där stänga av eller till och med byta ut gener som på grund av någon mutation är orsak till sjukdom.

En annan av våra viktigaste framtidsfrågor då det gäller hälsa är hur vi ska lyckas producera tillräckligt med livsmedel för att föda jordens befolkning. Framtidens jordbruk och livsmedelsindustri måste dessutom vara hållbara och förbruka mindre energi och vatten.

Nya material – ledande plast och molekyl-mekano

Kemisterna har uppnått stor skicklighet i att tillverka en mängd nya material med egenskaper skraddarsyddas för speciella funktioner: allt från kristaller med unika optiska



och elektriska egenskaper och stål med särskilda hårdhets- och skäreenskaper, till en flora av polymera material (plaster) med varierande egenskaper,

exempelvis med större hållfasthet än stål eller med unik elektrisk ledningsförmåga. De senare ledande polymererna har nyligen visat sig användbara för både tillverkning av strömsnåla

Light-Emitting Diodes (LED) för belysning samt, i den omvända funktionen, som solceller som kan leverera el då de belyses med solljus. Än så

länge är verkningsgraden runt blygsamma tio procent, men kan förväntas stiga i och med att materialen förbättras. Till skillnad från de traditionella kisel-solcellerna, som är

mycket energikrävande att tillverka och därmed kostsamma, kan de nya polymera solcellerna tillverkas billigt genom att snabbt spraya plasten över stora ytor.

Ett område i snabb utveckling är supramolekylär kemi. Här byggs stora strukturer upp med molekylära byggstenar i unika mosaikmönster som kan varieras nästan i det oändliga. På detta sätt kan bland annat elektriskt ledande och isolerande molekyler vävas samman till molekylära elektriska kretsar. Sådan molekylär elektronik gör det möjligt att konstruera dioder och transistorer, och i framtiden förhoppningsvis integrerade kretsar, på en skala som är mycket mindre än i dagens kiselbaserade elektronik. En lång rad nya tillämpningar kan förväntas i kölvattnet av denna kemiska nanoteknik: datorer byggda med molekylär elektronik, fotostyrda molekylära dataminnen, molekylära sensorer för medicinsk diagnostik, mikroskopiska medicinska robotar etc.

Ekonomi och arbetstillfällen

Kemi spelar en viktig roll för fortsatt svensk konkurrenskraft och nya innovationer inom en rad olika branscher och framtidsområden.



Här är bara några exempel:

Svensk läkemedelsindustri utgör en av landets stora kemitekniska inkomstkällor genom exporten av ett flertal internationella storsäljare. Här sysselsätts också ett mycket stort antal kemitekniker och akademiska forskare. Bland små och medelstora företag återfinns också sådana som relativt nyligen utvecklat avancerade kemiska produkter för olika former av diagnostik – huvuddelen av alla medicinska analyser sker genom någon form av specifik kemisk reaktion. Andra svenska företag har en världsmarknad inom utveckling av analysinstrument för medicinsk och biokemisk forskning, till exempel för att undersöka hur fort en läkemedelsmolekyl binder till eller lossnar från en viss proteinreceptor.

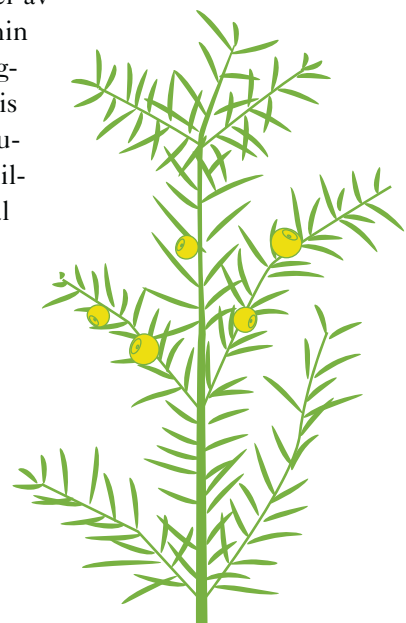
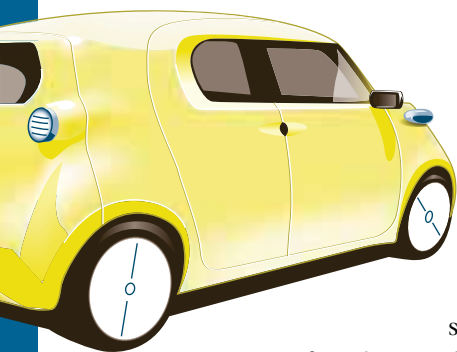
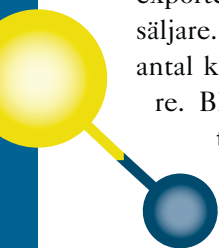
I en framtid med hårdnande konkurrens både från USA, Indien och Kina kommer vi mer än någonsin att vara beroende av den kunnighet och innovativa förmåga som kemisterna utexaminerade från våra universitet står för i industri såväl som i akademien. Bioteknik och nanoteknik brukar nämnas som speciellt intressanta utvecklingsområden – inom båda är det särskilt de kemiska landvinningarna som vunnit terräng. Molekyler har till exempel framställts med unik förmåga att binda till en viss receptor eller byggts upp med en nanostruktur försedd med ”adresser” till vilka andra molekyler med en specifik funktion kan skickas för att placeras på ett bestämt sätt.

Livsmedelsindustrin och det svenska jordbruket har stor betydelse för ett hållbart samhälle. Kemi och kemisk kunskap är viktiga inom detta område.

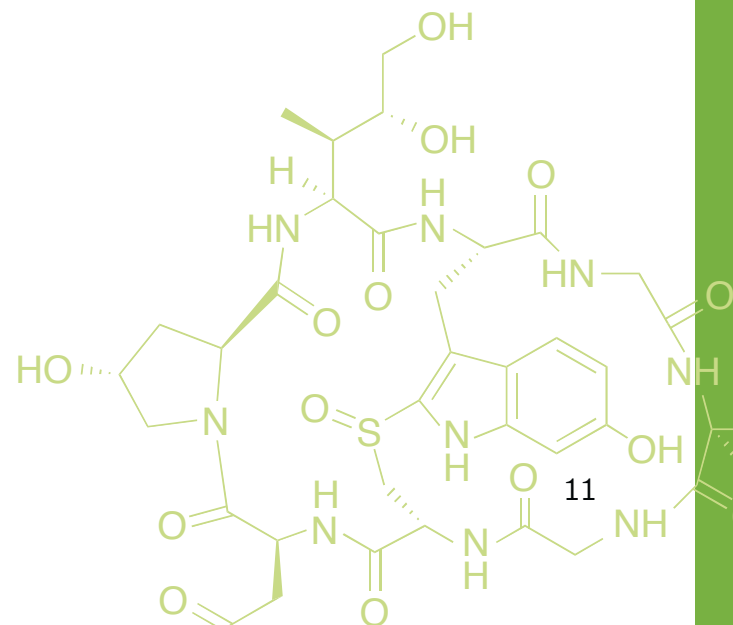
Skogsnäringen kommer också framöver att vara en viktig inkomstkälla för landet med stort inslag av kemiteknik. Till dagens trä- och pappersprodukter sällar sig en rad mer avancerade produkter såsom cellulosebaserade kompositer, kolfibrer och rötbeständiga höghållfasthetsmaterial för byggbranschen, samt ligninbaserade kemikalier och vissa flytande kolväteprodukter som ersättning för fossil olja för användning i kemisk industri.

Fordons- och verkstadsindustri som sysselsätter ett mycket stort antal personer i Sverige har omfattade kemitekniska inslag i form av produkter gjorda av polymera material såsom kompositer och gummimaterial med hög hållfasthet eller slitstyrka. Därtill kommer utvecklandet av effektiva smörjmedel och skärvätskor samt olika avväganden och riskbedömningar vad gäller till exempel bildandet av giftiga gaser vid höga temperaturer. Inom energitekniken spelar kemiteknik i form av kunskap inom termodynamik och utvecklingen av nya värmemedier för värmepumpar en central roll.

Järn- och stålindustrin har gamla anor och är fortfarande en viktig del av det svenska näringslivet. Kemin har stor betydelse för utvecklingen av nya material – exempelvis material som tål höga temperaturer, höga tryck och korrosiva miljöer. Kemin har också en central betydelse för produktion och utveckling av produkter för ytbehandling (färg och lack).



Förpackningsindustrin arbetar med att använda olika material för att förbättra transport och förvaring av en mängd olika produkter. En avsevärd mängd kemisk kunskap krävs för att modifiera både naturens egna råmaterial, såsom cellulosa och stärkelse, och syntetiska polymerer till att passa olika förpackningsändamål. Hållfasthet, låg vikt och barriärer för olika gaser är några av de egenskaper som kräver att man tillämpar kemiska kunskaper.



VAD ÄR KEMI?

– EN SNABB GUIDE OM ALLT FRÅN LIVETS UPPKOMST TILL DEN VETENSKAPLIGA METODEN

Kemi är ett sätt att se på och förstå naturen utgående från dess sammansättning av atomer och molekyler. En molekyl är ett antal atomer som sitter ihop med hjälp av kemiska bindningar. Kemi är konsten att sätta samman atomer eller molekyler till nya molekyler, att undersöka deras funktion och att studera hur de samverkar med varandra och med andra molekyler. Kemi är också att utforska naturen ur ett molekylärt perspektiv. Således handlar kemi både om att förstå hur livet och naturen fungerar på molekylär nivå och att konstruera nya molekyler och nya material med olika funktioner.

Kemin spelar en central roll bland naturvetenskaperna. Ämnet gränsar till fysiken och använder fysikens och matematikens fundamentala metoder. Kemin gränsar också till biologi, medicin och geovetenskap. Det molekylära perspektivet blir allt viktigare inom dessa vetenskaper och många framsteg sker i gränsområdena mellan de olika disciplinerna.



NÄR VI SÄGER ”världen” tänker vi på oss själva, liksom alla de andra djur och växter som utgör livet på vår planet. Och vi tänker oss gärna en värld försedd med någon form av ordning där alla kan leva i harmoni med varandra. Detta är dock en dröm långt från den värld vi har i dag, en värld som är hotad genom en rad processer av vilka många är kopplade till mänskliga aktiviteter. Många av dessa processer, om inte alla, har på något sätt med kemi att göra. Det gäller allt från vår exploatering och användning av mineral, fossila bränslen och andra naturtillgångar till utvecklandet av avancerade kemiska produkter som nya material och läkemedel, liksom olika kemiska processer som pågår i vår miljö och som är direkt eller indirekt relaterade till mänsklig aktivitet. Med människan och andra djur och växter i centrum för vår värld finns också en djupare och mera grundläggande kemi som fortfarande till stora delar är ett mysterium, nämligen livet självt.

Vad är en molekyl?

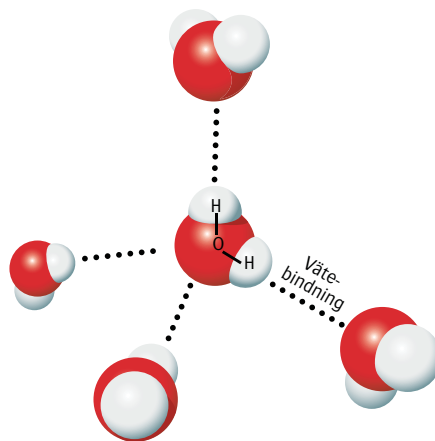
Vad är en kemisk reaktion?

Vi kan utgå från en enkel kemisk reaktion, nämligen sönderdelning av vatten, samt krafterna mellan vattenmolekyler, de så kallade vätebindningarna, för att illustrera vad kemi handlar om. En vattenmolekyl består av två väteatomer som är bundna till en syreatom. Bindningarna är starka och det behövs mycket energi, till exempel i form av hög temperatur, för att sönderdela en vattenmolekyl. Men tillför vi den energin kan vi splittra vatten i syrgas och vätgas. Vätgas är ett utmärkt bränsle och då det brinner förenar det sig med syre från luften och bildar åter vatten samt energi. Det här är exempel på kemiska reaktioner – omvandling av olika ämnen i varandra: vatten till vätgas och vätgas till vatten. Och exemplet visar vad kemisk energi är och hur energi

kan lagras genom att omvandla vatten till vätgas, och hur den kan återfås då vätgasen används som bränsle.

Det finns många olika grundämnen i det periodiska systemet och de kan kombineras till miljarders miljarder olika molekyler – stora som små. Veldigång många av de molekyler vi känner till bygger på kol, med kolatomer bundna till andra kolatomer eller till atomer som väte, syre, kväve eller svavel. Men innan vi berör sådana mera komplicerade molekyler måste vi notera en sak till om vatten – en oerhört viktig sak eftersom det har att göra med hur livet uppkom och varför allt liv fortfarande behöver vatten, vare sig det gäller växter, bakterier eller djur.

Vi vet alla att vatten kan förekomma som vattenånga, i flytande form och som is. I vattenångan är vattenmolekylerna ”ensamma” – vattenånga är en gas och om trycket sänks kommer vattenmolekylerna längre och längre



Att vatten har unika egenskaper beror till stor del på vattenmolekylens förmåga att bilda vätebindningar. Varje vattenmolekyl kan delta i fyra vätebindningar med andra vattenmolekyler. Det stora antalet bindningar som uppstår gör bland annat att vatten har mycket högre kokpunkt än jämförbara ämnen som inte kan bilda vätebindningar.

re från varandra. Om vi i stället ökar trycket kommer vattenmolekylerna närmare och närmare varandra och vattenångan kondenserar till flytande vatten. I flytande vatten är vattenmolekylerna mycket nära varandra – de kan inte komma närmare varandra även om vi ökar trycket ytterligare, däremot kan vätskan bli till fast is om temperaturen sänks och vattenmolekylernas rörlighet därmed minskar. Fram till hit är det inget märkvärdigt: alla ämnen bildar gas vid hög temperatur och vätska eller fast fas vid låg temperatur. Det gör också vattnets ”kusin” svavelväte, en molekyl bestående av två väteatomer bundna till en svavelatom (i stället för en syreatom som i vatten). Men medan vatten kokar vid +100 °C, kokar svavelväte vid -60 °C! Denna drastiska skillnad i kokpunkt beror på att vattenmolekylerna i flytande vatten (och även i is) hålls samman av ganska kraftiga så kallade vätebindningar. I flytande svavelväte är krafterna mellan molekylerna mycket svagare – det krävs alltså mindre energi för att slå isär dem från varandra så att de övergår till en gas.

För att förstå kemi behöver vi alltså inte bara behärska de starka bindningarna som håller ihop atomer till molekyler, och hur vi kan bygga upp molekyler eller ändra molekylerna till andra molekyler genom att manipulera dessa bindningar. Vi måste också förstå hur molekylerna binds till varandra, genom vätebindningar eller genom elektrostatisk attraktion: om molekylerna är laddade joner eller har ojämn laddningsfördelning gäller att plus dras till minus, liksom att joner och molekyler med lika laddningar stöter bort varandra.

Hur uppkom livet?

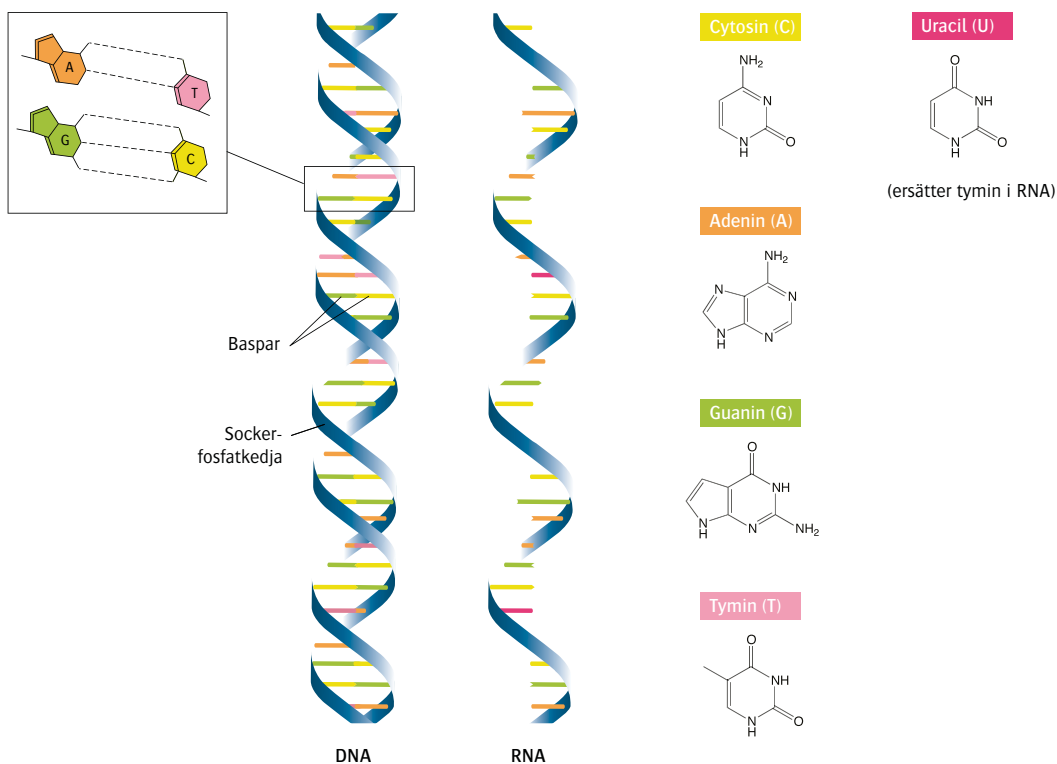
Vi kan naturligtvis bara spekulera om hur livet uppkom. Liv förutsätter molekyler som kan kopiera sig själva och man har nyligen visat att den främsta kandidaten för detta i en urtid

VISSTE DU ATT... forskarna Francis Crick och James Watson redan i sin berömda artikel om DNA i Nature 1954 förutsåg att molekylen bar på möjligheten att kunna kopiera sig själv.

då inga proteiner fanns, är nukleinsyran RNA. RNA kan kopiera sig själv utan hjälp av proteiner eller annat komplicerat maskineri, som ingår i den kopieringsprocess som sker i våra celler. Så vad är då så speciellt med RNA, och dess sannolikt yngre ”syskon” DNA?

RNA och DNA är uppbyggda av fosfat- och sockermolekyler sammanhäftade till en lång kedja, en polymer. På varje sockergrupp sitter dessutom en platt liten molekyl, en så kallad nukleinsyrabas. Nobelpriset i fysiologi eller medicin 1962 gick till Francis Crick, James Watson och Maurice Wilkins för deras upptäckt att DNA är en dubbelspiral där två strängar av en sådan fosfat-socker-nukleinpolymer hålls samman av vätebindningar mellan nukleinsyrabaser enligt en bestämd kod: basen adenin binder till tymin, med två vätebindningar, och guanin till cytosin, med tre vätebindningar.

Detta utgör den genetiska koden för cellens tillverkning av proteiner, men långt innan proteinerna fanns kunde antagligen RNA självt bilda sådana dubbelspiralstrukturer som kunde kopiera sig själva. Om man nämligen river bort en sträng från dubbelspiralen och fyller på med nya baser så att mot varje tymin på den gamla strängen svarar en adenin på den nya, och mot varje guanin svarar en cytosin, och sedan fogar dem samman med en polymerryggrad av socker och fosfat, så har man fått en kopia av den bortslitna strängen.



DNA-molekylens följd av så kallade nukleinsyrabaser utgör en genetisk kod som kan kopieras över till en RNA-molekyl för att på så sätt bli ett "recept" för tillverkningen av proteiner i våra celler. De specifika kopplingarna där basen adenin binder till tymin (eller uracil i RNA) med två vätebindningar och basen guanin till cytosin med tre vätebindningar är det som gör att en exakt kopiering kan ske.

Flera möjliga mekanismer har föreslagits för hur socker och fosfat en gång i tiden bildats och hur kemiska bindningar mellan dessa enheter i polymeren kan uppstå eller brytas. Under inflytande av hög temperatur och ultraviolett strålning från solen kan många av de viktiga byggstenarna, inklusive nukleinsyrabaserna, bildas med förhållandevis högt utbyte i en vattenrik miljö. Vattnet är viktigt dels som lösningsmedel för nukleinsyror och för spjälkningen och sammanfogningen av socker-fosfat-byggstenarna, dels för sin förmåga att få "feta" ämnen att dras till varandra, på grund av sin oförmåga att bilda vätebindningar till vattnet. Just detta att feta ämnen inte löser sig i vatten har förmodligen haft en mycket stor betydelse för livets uppkomst.

Den vetenskapliga metoden

Kemivetenskaperna söker genom noggranna observationer och välplanerade experiment förstå kemiska reaktioner och processer och bygga upp hållbara teorier som kan användas för förutsägelser. Det kan röra sig om vilka produkter som bildas när olika ämnen blandas, hur en viss modifiering av en struktur påverkar dess kemiska egenskaper eller hur en kemiteknisk process påverkas av tryck, temperatur och de råvaror som används. Det typiska för detta sätt att arbeta är att man har en oftast mycket väldefinierad frågeställning, som man försöker besvara med experimentella och teoretiska metoder. Forskaren gör experiment och testar sina idéer. Resultaten av experimenten leder till nya idéer, vilka testas genom nya experiment. Till slut kan forskaren erhålla en tämligen komplett förståelse för det system som studeras.

VISSTE DU ATT... många viktiga tekniska framsteg har sitt ursprung i grundläggande forskning som bedrivits utan specifika tillämpningar i sikte. Vid närmare eftertanke är det inte så konstigt, för hur skulle vi kunna planera forskning om något vi inte ens vet existerar?

Det finns också andra områden där kemi och kemivetenskap är lika viktiga men som inte kan hanteras på samma sätt som de föregående. Dessa områden berör mycket mera sammansatta system, system där många olika processer – kemiska, fysikaliska, ekonomiska och sociala – är hopkopplade i ett komplext nätverk.

De processer som påverkar en sjö och dess funktion i naturen kan tjäna som exempel. I ett sådant system kan man inte göra experiment. Vidare innebär systemets natur att förändringar är svåra eller omöjliga att kontrollera över långa tidsperioder, eller i de olika delarna av systemen på grund av deras storlek och komplexitet. Många av de lokala, regionala och globala miljöproblem som är ett resultat av industriell utveckling har denna karaktär. Det är dessa problem som kan påverka samhällsutveckling och industristruktur och som oroar medborgare. Problem av detta slag kräver bredare kunskaper och perspektiv än de som ges av de olika vetenskapsdisciplinerna. Beslut om åtgärder för att hantera dessa frågor kan inte tas av vetenskapssamhället utan blir ytterst en fråga för medborgarna och därmed för den politiska nivån. Många av dessa problem har att göra med bedömningar av vad som kan tänkas inträffa i en närliggande eller mera avlägsen framtid, en bedömning som alltid måste vara behäftad med osäkerheter av olika slag.

VETENSKAPLIGA HYPOTESER ELLER SLUMP? Forskning utgår ofta från en väldefinierad frågeställning. Forskaren formulerar hypotetiska svar till frågeställningen och testar sina hypoteser genom experiment vars resultat endera förstärker eller kullkastar hypotesen. Men det är inte alltid så det går till – många stora upptäckter har tillkommit av en slump. Det gäller bara för forskaren att inse att något viktigt har skett, vilket inte alltid är trivialt. Som den store franske 1800-talskemisten Louis Pasteur uttryckte det: *Le hasard ne favorise que les esprits préparés* – slumpen gynnar det förberedda sinnet.

.....

MODELLER SOM VIKTIGT VERKTYG Tillkomsten av snabba datorer gör det i dag möjligt att göra modeller av mycket komplexa system. Vid sidan av meteorologin står kemin för den mest omfattande användningen av datoriserade beräkningar. Sverige har en internationellt framskjuten position vad gäller utvecklandet av nya datorbaserade metoder, särskilt så kallade kvantkemiska metoder, och deras tillämpning för att förutspå struktur och egenskaper hos små och medelstora molekyler, liksom för att förklara utfallet av kemiska reaktioner. När det gäller makromolekyler i biologiska system finns metoder för att beräkna deras struktur och rörelser samt växelverkan med andra molekyler, till exempel en läkemedelsmolekyl. Beräkningsresultatet talar om exakt hur läkemedlet kommer att bindas till proteinet och hur strukturen av proteinet härvid påverkas. Modellering av hur fort kemiska reaktioner går har nyligen också blivit möjligt genom att man med kvantkemiska beräkningar kan ta reda på hur höga energibarriärerna för olika reaktioner är: när man vet barriärens höjd vet man också hur hög temperatur molekylerna behöver ha för komma över denna – det vill säga vilken temperatur som krävs för att reaktionen ska ske.

.....

Vad kan vetenskapen bidra med?

Låt oss fortsätta med sjön som exempel, där en förorening kan ha tillförts genom atmosfäriskt nedfall eller genom industriellt utsläpp. Innan ett problem av detta slag och dess effekt kan studeras måste man skaffa sig en uppfattning om vilka faktorer som är

viktiga för att förstå systemets egenskaper. Det är omöjligt att ta hänsyn till alla faktorer, dels känner vi inte helheten, dels är alla faktorer inte lika viktiga. Det gäller att tillämpa Einsteins ord "Everything should be made as simple as possible, but not simpler". Det kritiska steget i en analys av sammansatta problem är formuleringen av delstegen, en process som initialt baseras på observationer i naturen och i laboratoriet. Dessa delsteg bildar en modell av det sammansatta systemet och denna har den viktiga egenskapen att kunna ge svar på vad som händer om man gör förändringar i de olika delstegen. Detta är ett sätt att "häрма" vad som kan tänkas ske i naturen, där vi aldrig kan göra experiment av detta slag. Men modellen är inte verkligheten, den är forskarens förenklade bild av denna, och viktigare – "svaren" som modellen ger är inte bättre än ingångsförutsättningar och ingångsdata. Läsaren känner sig kanske bekymrad över detta, men tyvärr finns ingen bättre metod för att göra förutsägelser.

Låt oss studera några exempel på framtidsprognoser baserade på dagens kunskaper: Ett mycket stort arbete har lagts ned på att utveckla metodik för att förutsäga processerna som styr klimatet och hur de påverkas av

människan, modeller som delvis är baserade på kemi. Modeller av detta slag måste göras begripliga för både allmänhet och beslutsfattare för att ha någon möjlighet att nå acceptans beträffande framtida möjligheter och hot.

Här finns ett generellt problem: vetenskapen hävdar att med ökade resurser kommer man att få ett bättre underlag för beslut, eftersom mer och mer detaljer i modellerna kan tas fram. Detta stämmer vanligen, och för beslutsfattare kan det erbjuda en utväg att skjuta på svåra beslut. Men om vi tror på en stabil samhällsutveckling kommer man vid varje tidpunkt i framtiden att ha samma situation: "låt oss vänta och se". Denna strategi är riskfylld eftersom frånvaron av beslut också har konsekvenser. Forskning är ett nödvändigt villkor för en fortsatt god samhällsutveckling, men det är inte tillräckligt.

De följande kapitlen kommer att belysa hur kemi är en molekylär vetenskap som bygger på insikter om molekylers uppbyggnad och egenskaper och hur denna kunskap kan omsättas i "nyttigheter" till människans fromma. Texterna kommer förhoppningsvis att fascinera läsaren på samma sätt som vår vetenskap fascinerar oss forskare.

- En molekyl består av atomer sammanlänkade med kemiska bindningar. I kemiska reaktioner bryts bindningar och nya bildas, för att på så sätt ge upphov till nya molekyler.
- Det molekylära perspektivet som utmärker kemien har i dag stor betydelse inom angränsande vetenskaper som fysik, biologi, medicin och geologi.
- Den lilla vattenmolekylen med dess speciella egenskaper har en avgörande betydelse för livets kemi.
- Vi har i dag detaljerad kunskap på molekylär nivå om många av de processer som styr livets kemi.
- Forskare kan förse politikerna med vetenskapligt underlag för beslut om komplexa frågor inom många olika områden, till exempel energi och klimat.

KEMINS ROLL I MÄNSKLIGHETENS MILJÖUTMANINGAR

Jord, eld, luft och vatten var enligt filosofen Empedokles de fyra element som utgjorde jordens beståndsdelar. I dag vet vi att vår omgivning är en mycket mer komplex blandning av många kemiska komponenter. Vi omsätter grundämnen och mer sammansatta kemiska föreningar i en allt snabbare takt, och de sprids till miljön där de kan få oönskade effekter. Avgörande för ett fortsatt gott liv på jorden är att vi får bättre kontroll över vilka ämnen vi använder, vart de tar vägen och hur de uppför sig i naturen och i våra kroppar.

Två av de klassiska elementen – luft och vatten – är särskilt centrala för vår existens. Luftföroreningar leder till att tusentals svenskar dör i förtid i hjärt- och lungsjukdomar, och de skadar samtidigt grödor och material. Luftföroreningar orsakas av bland annat trafik, energiförsörjning och industrier – och många ombildas dessutom genom kemiska reaktioner i atmosfären. Kemin är viktig för att utveckla tekniker för att minska utsläppen, liksom för att undersöka hur luftföroreningar bildas och kunna göra bättre modeller för hur de sprids över jorden.

Vår framtida livskvalitet och en fredlig global utveckling är också helt beroende av att vi lyckas använda våra begränsade vattenresurser på ett mer hållbart sätt. Redan i dag lever en miljard människor med begränsad tillgång till vatten, och nivåerna i många floder och grundvattenreserver är historiskt låga. Kemisk kunskap behövs för rening av avloppsvatten och förorenat grundvatten, liksom effektiva sätt att avsalta havsvatten. Kemister kan även bidra med tillverkningsprocesser som är mindre vattenkrävande och leder till färre föroreningar.



ÄVEN OM MÄNNISKAN betraktar sig som evolutionens och skapelsens krona, i stånd att skapa vackra konstverk, skön musik, enorma byggnadsverk samt avancerade läkemedel, så skiljer vi oss kemiskt sett inte från andra organismer. I grunden är alla levande väsen ett slags kemiska maskiner som fungerar tack vare ett stort antal kemiska reaktioner som sker i våra celler, och i princip har vi samma kemiska konstruktion som kaniner, flugor och prästkragar. Vi är alla beroende av samma grundläggande förutsättningar för att frodas och föröka oss – en omgivning som tillhåller de kemiska ämnen som vi är beroende av i lagom halter, som inte innehåller skadliga kemikalier och som ser till att omsätta de avfallsprodukter vi producerar.

Livet på jorden har utvecklats under mycket lång tid, och allt mer avancerade organismer har sett dagens ljus. Med den moderna människans intåg på scenen förändrades snabbt de ekologiska förutsättningarna för andra organismer på jorden, och den största anledningen är vår unika förmåga att ta fram ny teknologi som förändrar de rådande biologiska processerna. Människan har spritt sig över hela jorden och påverkar den så att många andra arter har fått anpassa sig till vårt sätt att leva, och ibland inte kunnat anpassa sig så att de istället utrotats eller är utrotningshotade. Våra behov begränsar sig inte till basala ting som mat och vatten, utan vi behöver bränslen för att driva våra fordon och en rad kemiska ämnen för våra konstruktioner och högteknologiska uppfinningar. Som diskuteras på flera ställen i denna bok förser vi oss ofta med vad vi behöver på ett kort-siktigt sätt, även om många nu inser att vi inte kan fortsätta på samma sätt om hela jordens befolkning ska få tillgång till ett rimligt mått av välstånd. Som tur är har vår intelli-

gens även gett oss förmågan att samarbeta, och flera mer eller mindre globala överenskommelser om begränsningar av olika miljöhot har faktiskt kommit på plats genom åren – delvis tack vare kemisk forskning som gett politiker och förhandlare vetenskapliga underlag om aktuella problem.

Kemi är onekligen en central vetenskap när det gäller att utnyttja de möjligheter mänskligheten har på lång sikt, samtidigt som kemin utgör ett hot – kemistens uppgift måste vara att skapa ny teknologi som fungerar i ett hållbart samhälle och att anpassa gammal teknologi till förändrade situationer. Vi måste förstå var gränserna går för det vi kan tillåta oss att göra, och politiker behöver lyssna på kemister och andra forskare för att kunna fatta rätt beslut i framtiden.

Hur kan vi minska vår miljöpåverkan?

Ett hållbart samhälle sörjer för dagens behov utan att försvåra för kommande generationer att tillgodose sina behov. Dagens behov att förbättra levnadsstandarden för människor måste hanteras på ett sätt så att kommande generationer ska få chansen till ett bra liv. Självklart behöver detta inte innebära att man låser allt vid en standard som betraktas som hållbar vid en särskild tidpunkt, utan ny teknologi ger oss hela tiden nya möjligheter. Man talar om en hållbar utveckling som den som förändrar samhället efter dessa grundregler. Kemister spelar en viktig roll för all hållbar utveckling.

För att uppnå hållbarhet måste vi klara av att sluta kretsloppen – att återvinna och återanvända – så att kommande generationer får tillgång till de råvaror och kemiska komponenter som de kommer att behöva.

Inom EU är det bestämt att återvinningen ska ske efter följande hierarki:

1. Komponentåtervinning
2. Materialåtervinning
3. Energiåtervinning
4. Deponering (om återvinning bedöms omöjlig)

Låt oss ta skrotningen av en bil som exempel. En bil kan synas vara ett mekaniskt föremål, men i både konstruktionen och funktionen av samtliga komponenter är de kemiska egenskaperna av största vikt. På bilskroten plockar man först bort delar som fortfarande fungerar och som kan säljas som reservdelar, till exempel generatoren och startmotorn. Detta kallas komponentåtervinning, eftersom delarna kan ersätta samma komponenter som upphört att fungera i andra bilar. Det som inte kan återvinnas som hela komponenter kan sorteras i recirkulerbara materialgrupper, som till exempel olika metaller och plaster som kan återanvändas vid framställningen av nya delar i samma material. Detta kallas följaktligen materialåtervinning och kan vara, även om det inte är en regel, ekonomiskt intressant. Vissa materialgrupper, till exempel begagnade smörjoljor och dynor till säten (de senare kan återvinnas som komponenter om de är i gott skick), skickas till förbränning, och den kemiska energin tas till vara i form av värme i kraftverk för att producera till exempel fjärrvärme. Vissa material som i dag inte låter sig återvinnas eller förbrännas på ett miljöriktigt sätt deponeras i avvaktan på ny teknologi som gör detta möjligt. I bilar kan detta gälla vissa metalllegeringar, till exempel järn som innehåller koppar.

Komponentåtervinning

En komponent är en del i en större helhet, och för att kunna återanvändas måste kom-

ponenten och helheten vara kompatibla. I en bilmotor finns massor av komponenter, som på intet sätt är utbytbara. En kolv som kommer från en Volvo Amazon från 1968 passar inte i en 1969 års modell av samma märke, och är följaktligen enbart lämplig för komponentåtervinning då förutsättningarna är korrekta. Enklare delar, som spik och skruv, har större möjligheter att passa i andra konstruktioner än de som de ursprungligen var avsedda för, men ofta kostar insamlandet och sorterandet mycket mer än nyproducerade komponenter. Komponentåtervinning drivs emellertid inte enbart av miljömedvetenhet och krasst ekonomiskt tänkande, utan även av lagstiftning. Återvinningen av delar från skrotade bilar detaljregleras mer än återvinningen av byggavfall, och bilskrotor måste följa en mängd regler.

Materialåtervinning

Ett metallföremål kan smältas ned och omformas i princip hur många gånger som helst. I återvinningssammanhang kompliceras saker dock eftersom metallskrot oftast inte är rent utan består av både olika metaller och legeringar av metaller. För varje varv metallen återcirkuleras ökar generellt föroreningsgraden, och användbarheten minskar. Ibland lönar det sig att rena den återvunna metallen, och ibland inte eftersom det kan vara billigare att köpa ren metall producerad direkt från malm. Likadant är det för de flesta material, och valet vi har är att ha en ambitiös men dyr materialinsamling som ger oss många återvinningsvarv eller en enkel och billigare insamling som ger oss färre återvinningsvarv och därmed mer deponering. För flera organiska material, som termoplast och papper, tillkommer en förslitningsfaktor som ytterligare minskar antalet möjliga återvinningsvarv. Plaster brännskadas litet varje gång man smälter ned dem, och pappersfibern slits och för-

kortas varje gång man mal ned gammalt papper till ny pappersmassa. Till slut är det svårt att återanvända sådana material, varför de går till förbränning.

Naturen har löst materialåtervinningen genom balanser i ekologiska system som hela tiden ser till att ”den enes död är den andres bröd”. Alla organismer samverkar genom att de deltar i en rad kretslopp, som ser till att den materia de består av med tiden ställs till allas förfogande. Naturen är inte beroende av ”malmer” eller ”fyndigheter” för att tillfredsställa sitt sug efter grundämnen som är begränsat tillgängliga. Istället har organismer av evolutionen försetts med kemiska verktyg för att kompensera för brister. Ett exempel är grundämnet järn. Järn är ytterst viktigt i biologiska sammanhang, eftersom det behövs i flera viktiga molekylära komponenter som vi är beroende av. Vissa organismer undviker järnbrist genom att framställa föreningar som suger åt sig järn från omgivningen.

I den mån mänskliga aktiviteter ingår i de naturliga kretsloppen är de normalt ofarliga, så länge mängden material som ska recirkuleras inte är för stor. Ett exempel är våra utsläpp av koldioxid, som innan industrialismen var så små att de inte spelade någon roll. Även ”onaturliga” mänskliga aktiviteter, som använder och/eller producerar ämnen som inte ingår i naturliga kretslopp, kan passera obemärkt om de förekommer i begränsad omfattning. Om inte så kommer vi att påverka naturen, och vi måste anpassa oss genom att planera för hur återvinning ska fungera redan då vi designar processer i vilka nya kemikalier, material och produkter används. Återvinningen måste vara en integrerad del av de processer man planerar så att den med automatik blir ekonomiskt lönsam. I dag är detta sätt att tänka vanligt i många branscher, vilket vi märker när vi lämnar olika material på den lokala återvinningsstationen. Allt oftare inser vi att förpack-



Plaster kan återuppstå många gånger

Den svenska återvinningen av plastförpackningar ökar och ger råvaror för nya plastprodukter. Plasten i en förpackning kan återvinnas upp till sju gånger innan den är utsliten och går till förbränning för att ge energi. För att underlätta återvinning märker tillverkarna ofta plasterna. Hårda förpackningar består huvudsakligen av högdensitetspolyeten och polypropen, medan mjuka förpackningar ofta består av lågdensitetspolyeten.

Förklaringar

PET – Polyetentereftalat
PE–HD – Högdensitetspolyeten
PVC – Polyvinylklorid
PE–LD – Lågdensitetspolyeten
PP – Polypropen
PS – Polystyren
O* – Övriga plaster

ningsmaterial och annat är konstruerade för att enkelt och effektivt kunna återvinnas så allt mindre måste slängas i soporna. I all sådan utveckling är naturligtvis kemi och kemister viktiga.

Vissa material är generellt svåra att återvinna, i synnerhet kompositmaterial som består av flera material som fogats samman (till exempel glasfiber och armerad betong; kompositmaterial diskuteras på sidan 50). Dessa är fördelaktiga i konstruktioner men inte alltid lätta att hantera vid återvinning. Återigen, kompositmaterial måste skapas av personer som förstår sig på de rent kemiska aspekterna och ser till att de olika komponenterna låter sig tas omhand på ett kostnadseffektivt och miljöanpassat sätt. Naturens material består nästan uteslutande av kompositer, vilkas delar med automatik hamnar i och tas omhand av de naturliga kretsloppen.

Energiåtervinning

Om man inte kan ta till vara materialet i en förbrukad vara så kan man åtminstone försöka ta till vara dess energiinnehåll om den är brännbar. Förbränningsvärmen utnyttjas sedan till generering av el eller för uppvärmning. Allt material som går in i pannan kommer ut ur den antingen som rökgaser eller som aska, och det är naturligtvis viktigt att ingendera får utgöra en miljöfara när det lämnar anläggningen. Egenskaperna hos rök och aska bestäms av vad man matar in, förbränningsbetingelserna och eventuell reningsutrustning på anläggningen. Aska med lågt innehåll av tungmetaller från vanliga anläggningar kan oftast användas som gödning, medan aska från högtemperaturförbränning kommer ut som ett inert glas och kan användas som vägfyllning.

Grön kemi för mindre avfall, energiåtgång och utsläpp

För att bidra till minskad miljöpåverkan, och för att använda resurser och råvaror bättre, är effektivare kemiska tillverkningsprocesser avgörande. Kemister drömmer om processer i vilka komponent A reagerar med komponent B och ger den önskade produkten AB i 100 procent utbyte. Förutom att alla utgångsämnen används effektivt och hamnar i produkten innebär det att processen inte ger några biprodukter och därmed inte kräver dyra reningssteg – kemin blir lika enkel som att skruva ihop en bult med en mutter.

Verklighet ser dock annorlunda ut, och kemiska processer utan biprodukter existerar i realiteten inte. Ser man till dagens tunga kemiska anläggningar ligger över hälften av de ekonomiska investeringarna på olika reningssteg, antingen för att rena råvaran som ska gå in i processen och/eller för att rena produkten. Eftersom reningsstegen är dyra både i drift och som investering, finns det starka ekonomiska incitament för att försöka hitta kemiska processer som klarar sig med enkla och billiga reningssteg, och allra helst helt utan. Därför arbetar kemisterna hårt inte bara för att hitta på nya och användbara molekyler, utan de lägger minst lika mycket energi på att framställa kända molekyler på ett effektivare och energisnålare sätt.

Effektiv kemi med katalysatorer

I utvecklingen av effektivare processer kommer katalysatorerna in i bilden. Vi känner kanske framför allt till begreppet från bilar- nas värld, där katalysatorer omvandlar giftig kolmonoxid till ur hälsosynpunkt mer harm- lös koldioxid. Detta sker då strömmen av av- gaser blandas med luft i katalysatorn, som be- står av en metall som, utan att själv förbrukas, gör att oxidationen av koloxid till koldioxid

sker snabbare än normalt. Just så fungerar katalysatorer generellt, de påskyndar reaktioner utan att förbrukas.

När man bakar ett bröd tillsätter man jäst som katalysator – jästen omvandlar socker i degen till koldioxid, en kemisk reaktion som inte sker spontant. Katalysatorer blir allt viktigare i snart sagt alla kemiska och biologiska omvandlingar, och en tillbakablick i kemihistorien visar tydligt vart utvecklingen är på väg. I industrins barndom användes ofta mycket reaktiva kemikalier, eftersom de kunde fås att reagera med tämligen enkla medel. Nackdelen var att det också gav stora mängder biprodukter – inte sällan farliga för människa och miljö – som var oanvändbara och besvärliga att ta hand om och därför helt enkelt dumpades i naturen.

Den nya industriella katalytiska kemin visade sig snabbt vara enklare, billigare och renare, och gav kemisterna helt nya möjligheter att använda kemiska reaktioner i mänsklighetens tjänst. Ett exempel är råolja, som är en blandning av ett mycket stort antal så kallade kolväten, av vilka alla inte är direkt användbara. Genom att behandla råolja i olika katalytiska processer kan den omvandlas till bland annat eten, acetylen (svetsgas), bensin och diesel. Under inverkan av andra katalysatorer polymeriseras etengasen till etenplast. Man har senare upptäckt att samma katalysator kan användas för att polymerisera acetylen till elektriskt ledande polymer, en upptäckt som utnyttjas i delar av dagens solcells forskning.

Att optimera katalytiska processer så att de ger maximalt utbyte av användbara produkter och minimalt med oanvändbara biprodukter låter sig alltid göras, och den ekonomiska såväl som den miljömässiga drivkraften är att undvika onödiga reningssteg i processen.

I många industriella processer används syntetiskt framställda katalysatorer, ofta inne-

KATALYS Begreppet katalys infördes av den svenske kemisten Jöns Jacob Berzelius år 1835. Han definierade en katalysator som ett ämne som påskyndar en kemisk reaktion utan att själv förbrukas, en definition som gäller än i dag. Berzelius gjorde även andra viktiga insatser: han införde de moderna bokstavs beteckningarna för kemiska ämnen, han upptäckte nya grundämnen, och han sammanfattade nya rön inom kemin och såg till att de fick internationell spridning. Berzelius var Kungl. Vetenskapsakademiens ständige sekreterare under nästan 30 år. I dag står han staty i Berzelii park.



GRÖN KEMI Tankesättet att kemiska föreningar och industriprocesser bör utformas för att påverka miljön så lite som möjligt brukar samlas under begreppet grön kemi. Målsättningen med grön kemi sammanfattas i tolv principer:

- Undvik avfall
- Designa säkrare kemikalier och produkter
- Designa mindre riskfyllda kemiska synteser
- Använd förnybara råmaterial
- Använd katalysatorer, inte stökiometriska reagens
- Undvik kemiska derivat
- Maximera atomekonomi
- Använd säkrare lösningsmedel och reaktionsförhållanden
- Öka energieffektiviteten
- Designa kemikalier och produkter som kan degraderas efter användning
- Analysera i realtid för att förhindra föroreningar
- Minimera olyckspotentialen



hållande en metall. I Stenungsund sker med hjälp av en katalysator som innehåller metallen rodium storskalig omvandling av petroleumråvaror till en rad produkter som tjänar som utgångsmaterial för livsmedels-, jordbruks- samt färg och lackindustrin. Syntetiska katalysatorer som med stor precision omvandlar enkla startmaterial till komplicerade produkter används också inom läkemedelsindustrin. De katalytiska processerna har

VISSTE DU ATT... moderna tvättmedel kan tvätta rent vid bara 40 grader tack vare bland annat katalytisk hjälp av enzymer. Det sparar energi och minskar behovet av andra kemikalier i tvättmedlet.

tagits fram med hjälp av kunskap som bygger på såväl grundläggande forskning vid akademiska institutioner som industriell utveckling.

Framtidens kemiprocesser lär av naturen. När man letar efter uppslag till ny teknik brukar det ofta löna sig att lära av hur naturen löst problemet. Biokemiska processer katalyseras av enzymer. Det är proteiner, vilka kännetecknas av att de har en mycket hög selektivitet trots att de arbetar i blandningar av många olika ämnen. De omvandlingar som enzymer förmår åstadkomma kan vara förvånansvärt komplexa.

Den höga selektiviteten åstadkoms genom att enzymet kan liknas vid ett lås, och endast den molekylen som passar som nyckeln i låset omvandlas. I en blandning av molekyler kommer enzymet därför bara att omvandla just den molekylen som den är avsedd för. Den låga arbetstemperaturen, vanligen runt vår kroppstemperatur på 37 °C, gör att enzymkatalyserade processer dessutom är praktiska att utnyttja.

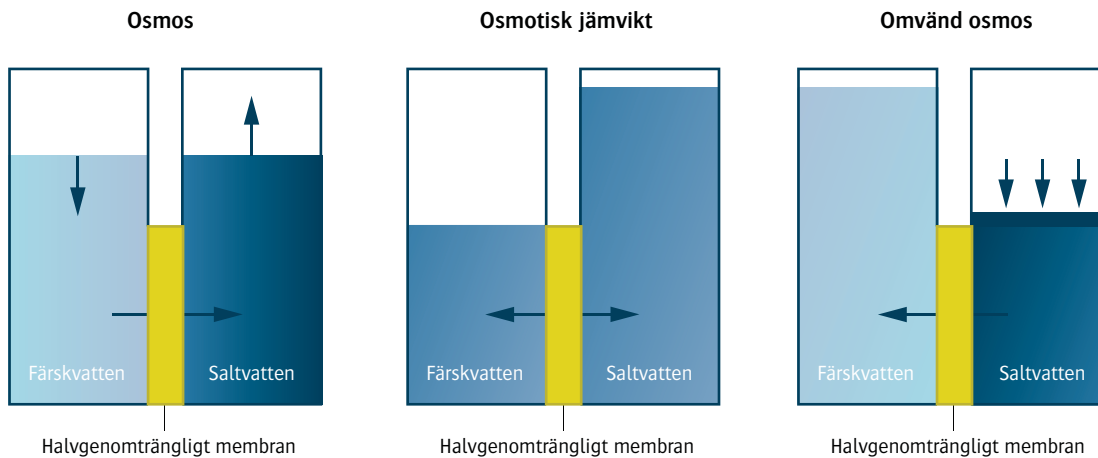
Även om vi ännu inte förstår och förmår utnyttja enzymkatalyserade kemiska processer fullt ut, är det uppenbart att de är en viktig del av framtiden. Alla biologiska processer i vilka enzymer deltar kan i princip utvecklas för industriellt bruk. Möjligheterna är enorma även om de vetenskapliga utmaningarna samtidigt är stora. Ett exempel är möjligheten att omvandla vanlig cellulosa till socker som av jästsvampar sedan kan fermenteras till etanol.

Vatten – både överflöd och bristvara

Vattenmolekylen, H_2O , är den vanligaste molekylen på jorden. Det finns i storleksordningen 1,4 miljarder kubikkilometer (en kubikkilometer är detsamma som 1 000 miljarder liter) vatten i våra hav, sjöar, glaciärer etc. Vatten är livets lösningsmedel. Det är osannolikt att någon livsform skulle kunna uppstå i en miljö som inte innehåller vatten, och de flesta organismer inklusive människan överlever inte länge utan tillgång till vatten i lämplig form.

Som kemikalie är vatten på flera sätt märklig och har en rad unika egenskaper. Det är som tyngst vid +4 °C vilket innebär att vattenorganismer kan överleva i sjöar även i kalla klimat då ytvattnet fryser, och det är en vätska som förmår lösa inte bara biomolekyler utan även joner som behövs i livsprocesserna. Tillsammans med koldioxid som diskuteras på andra ställen i boken, är vattenånga i atmosfären vår viktigaste växthusgas. Tillsammans höjer växthusgaserna medeltemperaturen på jorden från – 18 °C till mer angenäma 14 °C. Observera att den naturliga växthuseffekten orsakad i första hand av vattenånga i atmosfären är en förutsättning för livet på jorden och därmed är positiv, medan den extra växthuseffekten orsakad av de ökande halterna koldioxid och andra växthusgaser som genereras av mänsklig aktivitet är negativ, i och med att den förändrar existerande temperaturbalanser. Vatten kan samtidigt ta upp mycket värme vilket gör att haven fungerar som en jättelik värmebuffert vid klimatsvängningar.

Trots att det uppenbarligen finns miljarder liter vatten för varje människa på jorden så vet vi att vattenbrist är ett allvarligt och livshotande problem på många håll i världen. Det mesta av vattnet, 97 procent, är saltvatten och två tredjedelar av det återstående sötvattnet är bundet i polarisarna. Dessutom är den



Vätskor med olika koncentration av ett ämne strövar efter att uppnå jämvikt, något som kan ske genom så kallad osmos. Om två lösningar med olika salthalt separeras av ett membran som släpper igenom vattenmolekyler men stoppar saltjoner flödar vattenmolekylerna från den mer utspädda tanken för att jämna ut koncentrationen – och volymen i tanken med högre

koncentration ökar tills koncentrationen i de båda lösningarna är lika. Något som kallas omvänd osmos kan användas som en filtreringsmetod för saltvatten. Genom att lägga ett tryck på en lösning med havsvatten som har hög salthalt vandrar vattenmolekyler genom membranet och ger avsaltat vatten som går att använda som dricksvatten.

procent som vi kan använda ojämnt fördelad geografiskt över jorden och i tid på året när vattnet är tillgängligt. Att omvandla saltvatten till sötvatten som är drickbart och kan användas i jordbruket är visserligen möjligt men kostsamt. I takt med att världens befolkning ökar blir behoven av rent sötvatten akuta, och att lösa detta problem är en stor utmaning, inte bara för kemister. En stor del av problemet är att även hitta och genomföra effektiva och hållbara åtgärder för att minska föroreningen av vattentäkter samt att säkerställa tillräckligt mycket vatten av bra kvalitet för de naturliga ekosystemens behov. Vad kan man då göra? Det har till exempel föreslagits att man kunde stänga av Östersjön vid Skåne och Danmark så att saltvatten från Nordsjön inte kan tränga in genom Öresund och Fehmarn Bält, och låta floderna i norra Europa fylla

Östersjön med sötvatten som man sedan kan exportera söderut genom att bygga en pipe-line. Att rena sjövattnet från bakterier och smuts till dricksvattenkvalitet, som skulle behövas för denna export, är kanske enklare och billigare än att hitta hållbara lösningar lokalt i områdena med vattenbrist. En storslagen idé som dock kanske inte gillas av alla som bor runt Östersjön eller av organismerna i havet. De största reserverna av sötvatten på jorden finns bundna som is vid polerna och på Grönland, och ett annat förslag bygger på att man ska ta hand om isberg. Intressant, men tyvärr dyrt. Saltvatten kan omvandlas till sötvatten via förångning och kondensation av vattenångan, och om man har tillgång till billig energi, till exempel stark solstrålning, kan detta vara en användbar metod. Den viktigaste metoden för att

VISSTE DU ATT... allt salt i världshaven kommer från vittrade mineraler som sakta har förts dit via regnvattnen. Dagens salthalt i de stora haven på cirka 3,5 procent tros ha varit relativt stabil under en miljard år. Att halten inte hela tiden ökar och gör haven saltare beror på att salter samtidigt lämnar vattnet genom att bilda olika mineral på havsbotten.

omvandla saltvatten till sötvatten bygger på så kallad omvänd osmos, varvid vatten under högt tryck diffunderar genom ett membranfilter. Utveckling av nya membranmaterial sysselsätter kemister runt om i världen.

Precis som många grundämnen ingår i cykler på jorden finns det även en global vatten-cykel. Denna drivs av energi från solen, och dess största strömmar är de enorma mängder vatten som avdunstar från världshaven. Den avdunstade luftfuktigheten förs av vindarna runt klotet, och vattnet kondenserar och faller ut som nederbörd då lufttemperaturen sjunker. Även det regnvatten som fallit ned på land återbördas med tiden till haven, genom att först bilda mark- och grundvatten eller is vid polerna och i glaciär- och permafrostområden. Det rinner så småningom av till floder som mynnar i hav eller kommer direkt ut till havet som grundvatten, smältande glaciärvatten eller is som bryts av från glaciärer som går ända ut till havet.

Förutom att avdunsta och kondensera så växelverkar vattnet dessutom med alla kemiska ämnen som kommer i dess väg. Detta resulterar till exempel i uppkomsten av så kallat surt regn (se nedan) och vittring, vilket gör att material från berggrunden under år-miljonernas lopp löses ut och transporteras till världshaven. En viktig komponent vid vitt-

ringen är den kolsyra som alltid finns i regnvatten, eftersom koldioxid i luften löser sig i vatten och bildar kolsyra. Syran reagerar med basiska mineraler i bergarter som granit och gnejs, och dessa processer resulterar i transport av bland annat metaller till världshaven. Den största delen av världens uran återfinns i världshaven och har transporterats dit genom vittringsprocesser. Uran i havet är naturligtvis inte speciellt lätt eller billigt att utvinna. En annan viktig konsekvens av vittringen är att det sura ytvattnet neutraliseras, vilket i sin tur motverkar en försurning av haven och ett frisläppande av de enorma mängder koldioxid som är lösta i haven. På långa, geologiska tidsskalor är förståelse för vittringsprocessers kemi därför utomordentligt viktig för att förstå långtidsvariationerna av koldioxid i atmosfären. Förändringar av de ytliga jordlagren genom mänsklig aktivitet av olika slag, till exempel surt regn men framför allt mänsklig tillförsel av olika substanser, som konstgödsel i jordbruket, resulterar även i andra typer av kemiska processer som leder till upplösning och spridning av kemiska ämnen till olika vattenmiljöer. Exempel är fosfat och nitrat, vars transport till Östersjön resulterat i både algblooming och havsbottendöd. Den kemi som sker i världens vatten är onekligen global och påverkar oss alla. Vi behöver till varje pris förstå vad som händer.

Luft – ett lätt element vi inte kan vara utan

Att luften vi andas ska vara ren och utan skadliga ämnen är något vi alla önskar och kanske ser som självklart. Tyvärr finns det många tillfällen och platser i världen där så inte är fallet, inte på långa vägar. I Sverige förbättrar vi sakta vår luftkvalitet genom tekniska åtgärder och internationellt samarbete. Fortfarande be-

räknas dock luftföroreningar årligen i Sverige leda till 8 000 dödsfall i förtid genom att öka risken för hjärt- och lungsjukdomar. Olika ämnen skadar också grödor och resulterar i korrosion av material i till exempel byggnadskonstruktioner och kulturhistoriska föremål.

I andra delar av världen är smutsig luft en del av vardagen och problemen kan vara svåra att åtgärda. För att vi ska kunna förbättra vår luft krävs god kunskap om hur dålig luft uppstår och hur man på bästa sätt kan åtgärda problemen. Kunskapen om emissioner, luftföroreningar, och deras omvandling och effekter sammanlänkar många olika vetenskapliga områden, där atmosfärkemi spelar en nyckelroll. Kemisk omvandling i atmosfären har stor betydelse för hur våra utsläpp påverkar miljön, och det är kemiska reaktioner som bestämmer hur länge ämnen uppehåller sig i atmosfären. Detta i sin tur påverkar var och hur eventuella miljöeffekter uppkommer. Till exempel så är det den långa kemiska uppehållstiden för metan i atmosfären som gör detta ämne så betydelsefullt för växthuseffekten.

Surt regn som blev glädjande framgång

På 1960-talet gjordes en skrämmande upptäckt: regnvattnet och därmed sjöar och vattendrag speciellt i södra Sverige blev allt surare, och livet i sjöarna utarmades. Svenska forskare menade att anledningen var de ökade utsläppen från eldning av kol och olja i Storbritannien, Tyskland och andra länder i vår närhet. I början blev de misstrodda. Många, inte minst i Storbritannien, tvivlade på att luftföroreningar kunde orsaka skadeverkningar på så stort avstånd. Tack vare en omfattande forskningsinsats av meteorologer, atmosfärkemister och ekologer vet vi i dag rätt väl hur sambanden ser ut.

När man eldar kol och olja omvandlas det svavel som finns som en förorening i dessa bränslen till svaveldioxid som kommer ut

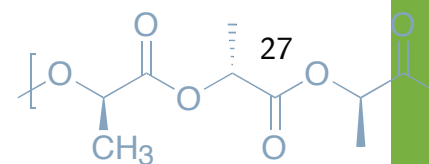
genom skorstenarna. I luften oxideras svaveldioxiden till svavelsyra genom kemiska processer som påskyndas av andra föroreningar och av solljus. Svavelsyran tas upp i moln- och regndroppar och gör regnvattnet surt. Kväveoxider är andra föroreningar som bildas vid förbränning. Dessa kan i luften oxideras till salpetersyra som bidrar till surheten.

Detaljerade beräkningar av hur mycket svavel och kväve som sprids från ett land till ett annat gav ett konkret underlag för politiska överläggningar om motåtgärder. I slutet av 1970-talet fattades de första besluten på europeisk nivå om att minska utsläppen, och fortsatta åtgärder har lett till att svavelnedfallet i Sverige och andra länder i norra Europa nu har minskat med över 75 procent. Många sjöar har därigenom börjat återhämta sig. I denna lyckade miljövårdssatsning har kemin, förutom att bidra med beslutsunderlag om utsläppsminskningar, även gett katalysatorer för bilavgaser och andra renings tekniker samt teknik för att ta fram bränslen som innehåller mindre svavel.

Utsläpp ger upphov till nya föroreningar

Ett stort problem är den kemiska komplexiteten i många utsläpp, som kan bestå av tusentals olika organiska ämnen. I atmosfären kan dessa reagera och bilda nya kemiska ämnen, vilka kan påverka såväl hälsa som klimat. Två viktiga så kallade sekundära luftföroreningarna är ozon och peroxyacetylnitrat (PAN).

Ozon är en gas som när den förekommer i högre halter vid markytan bland annat ger upphov till svåra problem i luftvägarna. Ozon är dock inte en förorening som släpps ut direkt genom avgasrör eller fabrikk skorstenar, utan den bildas i kemiska reaktioner från andra gaser, främst kvävedioxid, kolmonoxid och kolväten. Reaktionerna drivs av solljus, och genom en serie så kallade fotokemiska omvandlingar bildas ozon. Proble-



men är störst i miljöer som innehåller höga halter kolmonoxid och kolväten, alltså i avgasförorenade storstäder. För att minska problemet har man bland annat infört katalytisk avgasrening på bilar, men eftersom antalet bilar ökar kraftigt är förhöjda ozonhalter fortfarande ett stort problem på många håll i världen. Dessutom är ozon farligt för växter, och betydande skador på jordbruksgrödor uppkommer varje år. Atmosfärkemister har spelat en viktig roll när det gäller att klargöra hur det marknära ozonet bildas och vilka primära föroreningar som motåtgärderna bör koncentreras på.

Det finns inga direkta källor till PAN utan det bildas i atmosfären genom komplexa kemiska reaktioner från andra ämnen. Pionjärerna inom atmosfärskemi försökte under ett antal år förstå kemin bakom bildandet av PAN. Man diskuterade ”ämne x” men hade stora laborativa svårigheter att framställa referensmaterial på grund av explosionsrisken. I dag är dock den kemiska förståelsen för ozons och PAN:s bildning i atmosfären god. En framtida utmaning för atmosfärkemister är att kunna förutse och förstå effekter av olika ämnen och genom denna förståelse kunna vägleda utveckling av ny kunskap om hur luft förorenas, men även rensas. Sådan kunskap kommer att vara avgörande den dag vi tvingas, kanske av ekonomiska realiteter, att fasa ut fossila bränslen och ersätta dem med förnybara bränslen.

Långväga spridning av miljögifter

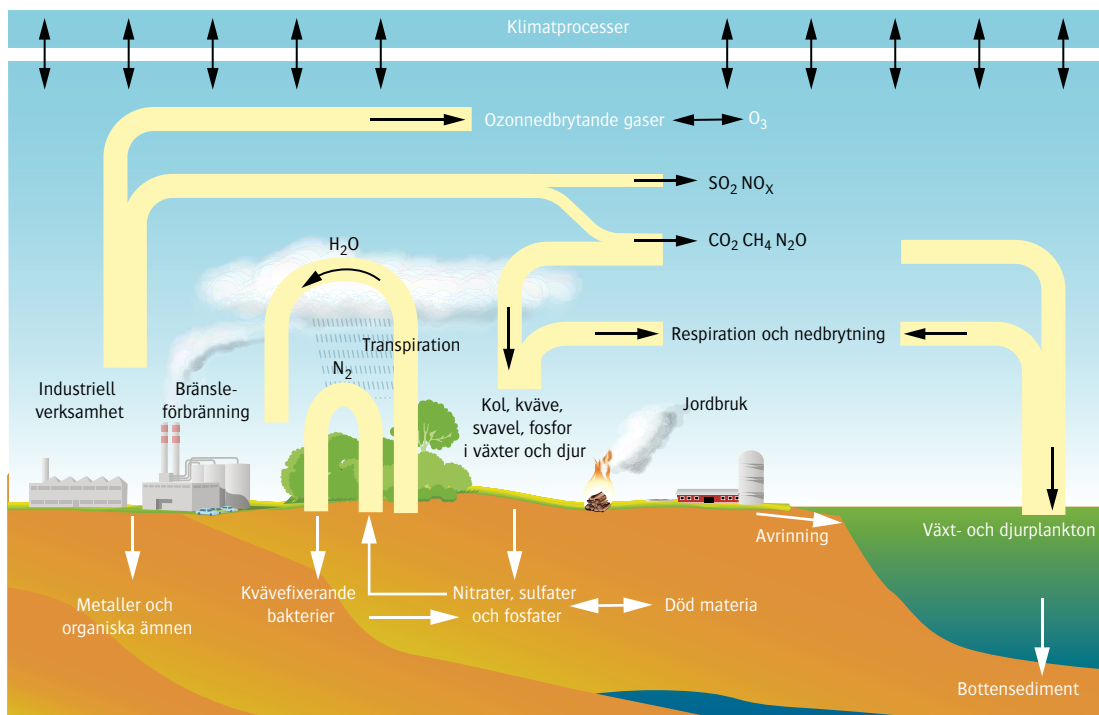
Kemiska omvandlingar i atmosfären påverkar såväl ämnens livstid som deras omvandling till toxiska ämnen, och därmed de totala effekter som luftföroreningar kan ha på människa och miljö. Ett intressant exempel är kvicksilver, vars omvandling och förekomst i vår miljö är ett reellt hot för människan. Kviksilver är precis som koldioxid en global luftförorening, trots att kvicksilver är en metall. En anledning är att kvicksilver som

rent grundämne är en vätska med viss flyktighet vid rumstemperatur, men framför allt beror ämnets spridning på att mikroorganismer i jorden kan omvandla det till lättflyktiga organiska former. Därför ingår kvicksilver i ett naturligt kretslopp. Det övergår till atmosfären antingen som kvicksilverånga eller som organiska kvicksilverföreningar och i atmosfären omvandlas det till vattenlösliga former och kommer ned med nederbörden. Väl nere på jorden omvandlas det igen av mikroorganismer till flyktiga organiska former och återgår till atmosfären – cirkeln är sluten.

Mänsklig aktivitet, som att använda kvicksilver som bekämpningsmedel och industrikemikalie, har flerdubblat mängden kvicksilver som är i omlopp, vilket är oroväckande. Kviksilver är en starkt giftig metall som påverkar människan såväl som andra organismer redan i låga halter. I Europa och Nordamerika har det gjorts stora ansträngningar för att minska utsläppen av kvicksilver, men i Asien och Sydamerika förekommer fortfarande stora utsläpp till atmosfären. Hälsoeffekterna orsakas i första hand av konsumtion av kvicksilverförorenad fisk. Eftersom kvicksilver är en global luftförorening kontamineras all fisk, även i avlägsna områden som Arktis, men naturligtvis mer i områden där kvicksilver används industriellt. För att begränsa effekterna av kvicksilver i miljön generellt och för att minska risken för hälsoeffekter på grund av fiskkonsumtion krävs internationella överenskommelser om minskade utsläpp till luft, mark och vatten.

Ozon och ozonhålet

Ozon är inte bara en luftförorening som ställer till bekymmer. Gasen finns också högt upp i stratosfären, där den absorberar skadlig ultraviolett strålning och hindrar den från att nå jordytan. Ett hot mot detta skyddande ozonskikt visade sig vara en grupp ämnen



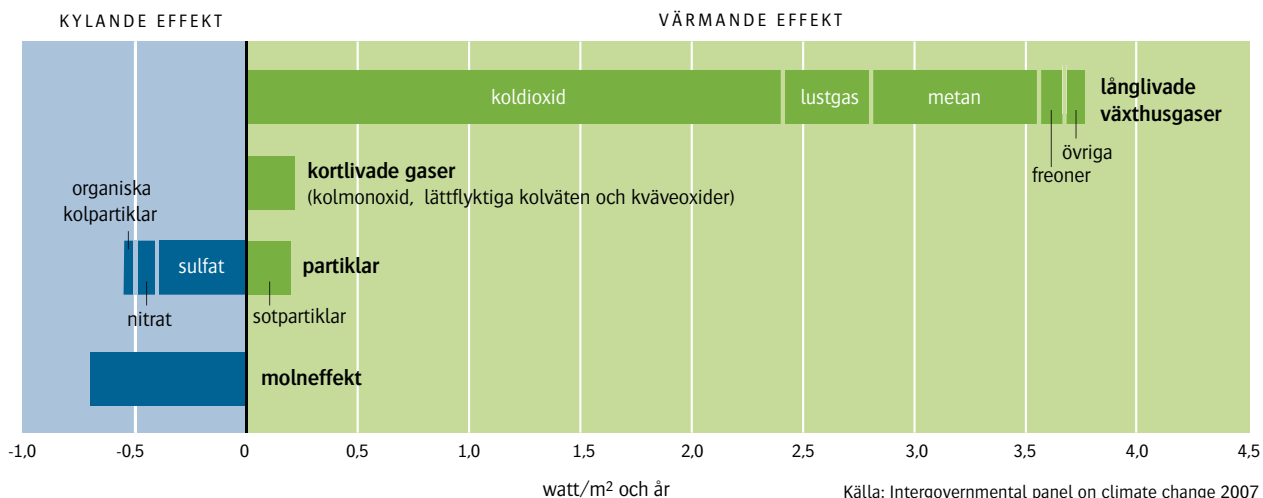
I den globala omsättningen av vatten, kol och andra kemiska ämnen i mark, vatten och atmosfären sker ett stort antal reaktioner som schematiskt visas i figuren. Luftföroreningar och växthusgaser från industrier och förbränning, närsalter från jordbruket, metaller och

organiska ämnen från industrier och annan verksamhet samt avfall – det är några av alla ämnen som vi släpper ut, som tas upp eller avges från växter, löser sig i vatten, ombildas i atmosfären eller på andra sätt sprids och leder till olika miljöeffekter.

kallade freoner som under mitten av 1900-talet fick många viktiga användningsområden, bland annat som drivmedel i sprayflaskor och som kylmedium i kyl- och luftkonditioneringsanläggningar. Kemiskt är de små kolväten i vilka väten bytts ut mot halogenerna fluor och klor – namnet freon var kemijätten DuPonts handelsnamn på produkten. Eftersom freoner är väldigt stabila, ogiftiga och obrännbara ansågs de länge som idealiska ur miljösynpunkt.

Men år 1974 påpekade forskare att dessa föreningar kan orsaka en nedbrytning av ozon i stratosfären, eftersom de är så synnerligen stabila att de överlever många år i lufthaven och kan ta sig ända upp i stratosfären. Ett drygt år-

tionde efter det att problemet uppmärksammades upptäcktes en dramatisk uttunning av ozonskiktet över Antarktis, och efter ett intensivt arbete av atmosfärkemister kunde man visa att ozonhålet, som det kom att kallas, orsakats av våra utsläpp av freoner. Denna kunskap ledde till en internationell överenskommelse i Montreal 1987 som lade fast hur användningen av freonerna skulle avvecklas. I dag har halterna av freoner i luften börjat avklinga och ozonskiktet uppskattas vara i stort sett återställt 2060. Tack vare att politikerna lyssnade på forskarna och gemensamt vidtog kraftfulla åtgärderna mot utsläppen förhindrades en katastrof.



Balansen mellan in- och utstrålning till jorden påverkas av mänskliga utsläpp av både växthusgaser och partiklar i atmosfären. Diagrammet visar hur de utsläpp som sker i dag beräknas påverka balansen kommande hundra år. Våra utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser som är långlivade i atmosfären

ger ett stort värmande tillskott, liksom kortlivade gaser och sotpartiklar. Sulfat och andra partiklar ger istället en kylande effekt genom att reflektera solinstrålningen och påverka molnbildningen. Totalt beräknas den samlade effekten av dagens utsläpp ge en kraftig uppvärmning kommande hundra år.

Hur påverkar människan klimatet?

Vid förbränning av organiskt material – fossilt lika väl som färskt – bildas gasen koldioxid ur materialets kolatomer och luftens syre. Koldioxidmolekylen är kemiskt stabil i atmosfären, men har förmågan att absorbera värmeinstrålning och återutsända sådan strålning i alla riktningar. Denna förmåga hänger samman med molekylens struktur vilken tillåter att strålningsenergin kan omvandlas till vibrationer och rotationer i molekylens. Andra molekyler i atmosfären med samma förmåga är vattenånga, metan och ozon. Dessa gaser benämns i dag ofta växthusgaser eftersom de genom sin värmeabsorberande förmåga bildar ett värmande täcke kring jorden. Utan de naturligt förekommande växthusgaserna, framför allt vattenångan, skulle jordens medeltemperatur vara cirka 30°C lägre. Vi ska därför vara tacksamma för växthusgaserna.

Problemet vi står inför nu är att de ökande halterna av koldioxid kommer att leda till en ytterligare uppvärmning med potentiellt stora konsekvenser för människans livsvillkor, inte minst genom en stigande havsvattennivå. För att kunna uppskatta storleken av den framtida uppvärmningen är det särskilt två frågor som vi behöver öka vår förståelse för.

Vi behöver ta reda på hur stor del av den koldioxid vi släpper ut som kommer att stanna i atmosfären och bidra till en ökad halt, jämfört med de delar som kan tas upp i haven eller absorberas av landbaserade ekosystem. Finns det återkopplingar, alltså processer som kan accelerera eller bromsa ökningen av halten i atmosfären? Kan en upptining av permafrosten leda till stora ytterligare utsläpp av växthusgaser? Här finns många intressanta kemiska och biologiska processer att studera.

Vi behöver också veta hur stor påverkan en viss halt av koldioxid i atmosfären har på klimatet. Med andra ord, hur känsligt är klimatet för störningar orsakade av människan? Här är osäkerheten fortfarande betydande, till stor

del beroende på att vi inte så väl känner till hur stoftpartiklar påverkar klimatet och hur molnen kan komma att förändras om temperaturen stiger.

- Ren luft och rent vatten är förutsättning för ett sunt liv – och kemiska processer är avgörande att vi ska kunna rena luft och vatten från föroreningar.
- För att uppnå hållbarhet måste vi sluta kretsloppen. Kemiska kunskaper krävs för både effektiva återvinningsmetoder och design av material som är lämpade att återvinna.
- Vid produktion av kemiska produkter får metoder med minimerad miljöpåverkan, så kallad grön kemi, allt större genomslag.
- Katalytiska processer har många fördelar och kan utnyttja såväl syntetiskt framställda katalysatorer som naturliga biokatalysatorer.
- Kemister och andra forskare som studerade problemen med surt regn och uttunning av ozonskiktet gav underlag för politiska beslut som nu har begränsat utsläpp och användning av försurande och ozonnedbrytande ämnen.
- För att kunna bedöma hur stor den pågående globala uppvärmningen blir behövs kemiska kunskaper för att förstå hur vi påverkar växthuseffekten i detalj och vilka effekter på klimatet det får.

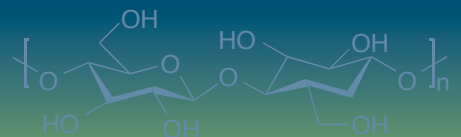
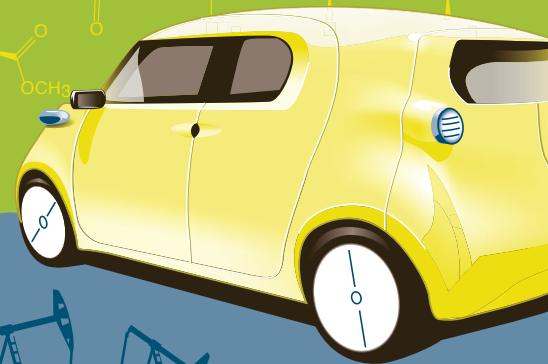
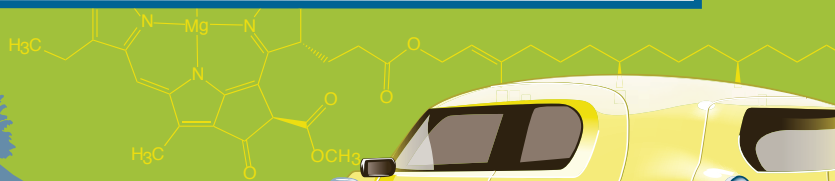
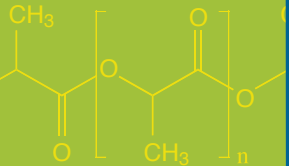
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
								77	78
								Ir	Pt
								109	110
								Mt	D

KEMI HJÄLPER OSS HUSHÅLLA MED VIKTIGA RESURSER OCH RÅVAROR

Alla produkter vi använder i vårt dagliga liv bygger på en lång rad råvaror. En bil till exempel innehåller över 30 olika grundämnen. Den består, förutom av cirka ett ton järn, av omkring 100 kilo aluminium och mindre mängder kol, kisel, zink med mera. Under sin livstid förbrukar den därtill drygt 20 000 liter bränsle.

För att mätta vårt behov av olika råvaror måste ämnen utvinnas i gruvor, tas från skogen eller från fossila reserver. Att vi är beroende av dessa resurser är lätt att glömma bort – i alla fall så länge de finns i ett överflöd. Allt fler naturtillgångar är i dag ansträngda, även om det i många fall är svårt att uppskatta hur stora reserver vi har kvar. För resurser som olja och fosfor är det dock tydligt att dagens utveckling inte är hållbar. Upparbetning av många råvaror förbrukar också mycket energi och påverkar miljön negativt.

Hur ska vi då lyckas använda tillgängliga resurser effektivare? Till exempel innehåller dagens växande berg av elektronikskrot många sällsynta metaller, som bland annat kan användas för nya typer av solceller. Bättre processer för återvinning behövs alltså, men vi måste också lära oss att successivt byta ut ändliga råvaror mot förnybara. I Sverige kan skogsråvara användas som råvarubas. Sammantaget krävs fortsatta framsteg inom kemi för att optimera olika industriprocesser, så att de blir mer resurssnåla och även kan baseras på alternativa råvaror.



MÅNGA RÅVAROR VI använder är begränsat tillgängliga, och med ökad befolkningstillväxt och snabb samhällsutveckling måste resursplanering och återvinning prioriteras, liksom omställning till hållbara råvarukällor. Det moderna samhället tär på råvaruresurserna, och utnyttjar endast en mindre del av de råvaror som vi utvinnet för vår materialproduktion. Man uppskattar att 80 procent av materialet i olika produkter går till soporna efter endast en gångs användning.

I framtiden, då utvecklingsländernas befolkning förhoppningsvis ska kunna nå högre levnadsstandard, måste forskning och utveckling fokusera på att kunna utnyttja våra resurser effektivare. Detta kan bland annat uppnås genom hållbar design av produkter, genom att undvika råvaror som det råder brist på samt genom att utnyttja förnybara energiråvaror och öka återanvändningen av material och råvaror. Att kemin har en viktig funktion i denna tvärvetenskapliga utmaning är temat för detta kapitel.

Jordens resurser som kemiska kretslopp

Kemi handlar i princip om grundämnena, deras kemiska föreningar och hur dessa kan omvandlas i varandra. Vår planet har bildats genom att gasmoln från en exploderande stjärna har förtätats, och detta gasmoln innehöll de grundämnena i samma proportioner som finns på vår planet än i dag. Vår planet är materiemässigt isolerad från sin omgivning, vilket innebär att den materia vi förfogar över är konstant – jordens ”materieresurser” kan inte förbrukas utan bara omvandlas mellan olika kemiska former. Kol, som är den organiska kemins och därmed livets grundämne, förekommer även i oorganiska former som krita (kalciumkarbonat). Organiskt (”levande”) och oorganiskt (”dött”) kol omvandlas sålunda hela tiden i varandra.

MÅNGA GRUNDÄMNE FRÅN SAMMA STÄLLE I Ytterby, på Resarö i Vaxholms kommun, har fler grundämnena än på något annat ställe upptäckts. I Ytterby gruva bröts redan på 1600-talet kvarts för järnbruket i Uppland och senare fältspat som användes inom porslins- och glasindustrin. En ung amatörgeolog vid namn Carl Axel Arrhenius fann där en tung svart sten som han bad Johan Gadolin, professor vid Åbo Akademi, att analysera. Gadolin fann 1794 att den svarta stenen var ett mineral som efter honom fick namnet Gadolinit. De grundämnena som senare hittades i gruvan har fått namn efter fyndplatsen: skandium (Sc), yttrium (Y), terbium (Tb), holmium (Ho), erbium (Er), tulium (Tm) och ytterbium (Yb). Ytterby gruva är i dag ett populärt utflyktsmål för kemister.



1																	He								
H																	He								
3	4															10									
Li	Be															Ne									
11	12															18									
Na	Mg															Ar									
19	20	22	24	26	28	29	30	31	32	33	35	36													
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
37	38															48	49	50	51	52	53	54			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
55	56	57-71	72	74	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86										
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn								
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111															
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg															
											61	62	63	64	66	67	70	71							
											La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
											89	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
											Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Källa: Sveriges landskapsgrundämnena

Svenska kemister var under 1700- och 1800-talen inblandade i upptäckten av många grundämnena, antingen genom att isolera dem eller genom att identifiera föreningar där ämnena ingick. Duktiga forskare i kombination med en svensk berggrund rik på olika mineral lade grunden för framgångarna, något som flyttade fram kunskapen inom kemi avsevärt.

Flödet av kol och många andra grundämnena styrs av globala cykler, i vilka grundämnena omsätts i olika former. Dessa cykler är i grunden naturliga men kan påverkas av mänskliga aktiviteter. För livet på jorden är tre grund-

ämnescykler speciellt viktiga, kol-, kväve- och fosforcyklerna.

Hur påverkar vi naturens kretslopp av kol? Kolcykeln kan vi till exempel låta inledas av koldioxiden i atmosfären, där det finns cirka 750 miljarder ton kol. Växternas upptag av koldioxid motsvarar 120 miljarder ton kol per år, och de omvandlar med hjälp av solljus och fotosyntes koldioxiden till kolhydrater, som lagras i växten, och till biprodukten syre som avges till luften. Kolhydraterna kan användas som bränsle av andra organismer, till exempel av människan som kan äta vissa kolhydrater (som socker och stärkelse) eller elda upp dem (som ved) för att få värme. I båda fallen förenas kol med syre så att koldioxid återbildas.

Koldioxid kan även tas upp i haven eftersom det är lösligt i vatten. Hydrosfären (hav, sjöar, floder) innehåller av denna anledning cirka 40 000 miljarder ton kol. Det finns alltså över 50 gånger mer koldioxid löst i jordens vatten än det finns i luften. I haven kan koldioxid falla ut som olösliga karbonater och med tiden bilda bergarter. När dessa dras med i vulkanisk aktivitet återomvandlas kolet till koldioxid som spys ut i atmosfären. En betydande del av kolet i våra vatten tas dock upp och blir bundet av organismer, som efter sin död i form av organiska rester, skal eller skelett faller till botten och under miljontals år omvandlas till kol, olja och naturgas som fångas i fickor i berggrunden.

Det är denna del av kolcykeln som nu störs av mänskliga aktiviteter, genom att kol, olja och naturgas på kort tid förbränns till koldioxid som hamnar i atmosfären. Halten av koldioxid i atmosfären ökar därför och bidrar till växthuseffekten, vilket leder till en höjning av jordens medeltemperatur.

FOSSILA BRÄNSLEN – VÄLLAGRAD KEMISK ENERGI De fossila bränslena har bildats från tidigare geologiska perioders biomaterial.

- Råolja har bildats ur rester av marina organismer, främst plankton som levde i varma hav. Om resterna lagrats på havsbotten under tätande lager av sediment har deras komplexa organiska strukturer sakta brutits ned till enklare kolväten. Omvandlingen har krävt unika förhållanden vad gäller temperatur och tryck under lång tid, varför fyndigheterna är begränsade till några få procent av jordklotets land- och havsområden.
- Kol har bildats ur växter, främst träd och buskvegetation i täta skogar på stränder kring varma hav. Vid klimatändringar eller geologiska händelser har växtmaterial täckts in under lager av sediment som isolerat biomaterialet från syre i luften. Om sedimentlagren skapat tillräckligt högt tryck och höjt temperaturen genom värme från jordens inre har en kemisk omvandling kommit igång där främst metan har avgetts och lämnat kvar ett "skelett" av kolatomer.
- Naturgas består till största delen av metan, men kan även innehålla mindre mängder av de kemiska släktingarna etan, propan, butaner och eventuellt pentaner samt andra gaser som koldioxid. En del av den metan som bildats i råolja- och kolfyndigheter har stannat kvar, upplöst i råoljan eller inlagrad i kolet. Större delen har dock vandrat vidare i porösa sedimentlager och samlats i skifferstrukturer och som metanhydrater. Metan nybildas ännu i jordskorpan samt vid avfallsdeponier och biogasframställning.



Kväve och fosfor – andra viktiga kretslopp
Kemin i kolcykeln är relativt enkel, och människans möjligheter att påverka processerna är därför tydliga. I kväve- och fosforcyklerna är den cirkulerande mängden materia betydligt mindre, och tiden för materieomsättningen i en cykel är mycket längre. Det innebär att de kan vara känsligare för mänsklig påverkan. Risker att störa de naturliga cyklerna ökar inte minst när en växande världsbefolkning kräver en allt större livsmedelsproduktion, som i dag baseras på kväve- och fosfatgödning (fosfor är

grundämnet och fosfat är den form av fosfor som alla organismer behöver).

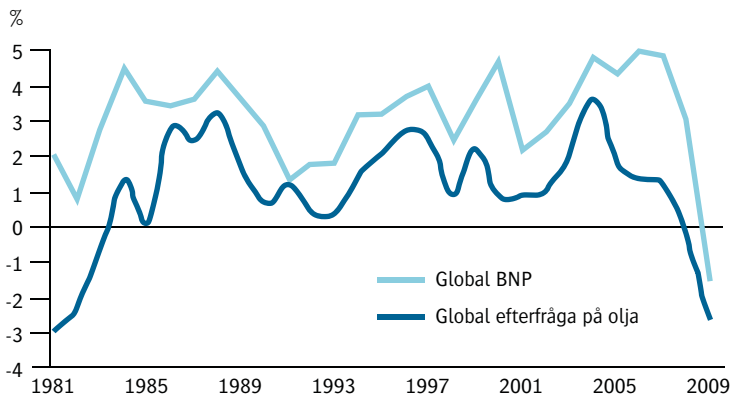
Tillgången på kvävegödsel är i princip obegränsad, tack vare kemiska processer som gör det möjligt att fånga in och utnyttja den stora mängd kväve som finns i luften. Så är inte fallet med fosfor, som vi får tillgång till genom brytning av fosfatmineral vilka bara finns i begränsade mängder. Fosfat som används i jordbruket återvinns inte, utan passerar i upplöst form till yt- och grundvattensystemen och sprids i alla vattendrag. Att dagens användning av fosfor är ohållbar på sikt och dessutom bidrar till övergödning är alltså ett stort problem. Kemister kan förhoppningsvis erbjuda hållbara lösningar och sluta fosfatcykeln, främst genom att återvinna fosfor från åkrarnas dräneringsvatten och i reningsverken.

Vad händer när oljan tar slut?

Dagens samhälle är konstruerat för att i första hand använda kol, råolja och naturgas som energikällor, och enorma investeringar har gjorts i infrastruktur och utrustning som förutsätter fortsatt tillgång på fossila råvaror. Riklig tillgång på kol startade industrialismen, och den koncentrerade energin i oljeprodukter drev fram bilismen och gav flyget lyftkraft. Naturgas är det fossilbränsle som det uppskattas finnas störst reserver av, bland annat i skifferstrukturer. I USA väntas ny teknik för utvinning av sådan "skiffergas" ersätta behov att importera naturgas för energitillförsel och som råvara för plast- och petrokemiindustrin för många decennier. Skifferlager täcker även stora områden i Europa, Mellanöstern och Asien.

Samtidigt är tillgången på fossila råvaror begränsad, och i takt med att de mest tillgängliga källorna för kol, råolja och naturgas har exploaterats så blir det allt svårare och därmed allt dyrare att komma åt dem. Med tiden

Årlig förändring i global BNP och oljeefterfrågan



Källa: International Energy Agency (IEA)

Som grund för billig energi och som råvara för en lång rad kemikalier har oljan varit ovärderlig. Utvecklingen för världens ekonomi och vår användning av olja har under lång tid varit tätt sammanlänkade. Att lyckas bryta sambandet mellan tillväxt och ökat oljebehov kommer förutom politiska åtgärder att kräva omfattande insatser inom forskning och utveckling kring alternativa råvaror och resurser.

kommer därför kostnaden för fossila bränslen att öka, samtidigt som alternativa energiformer av olika slag blir billigare i takt med att teknologierna för att framställa och utnyttja dem utvecklas. Så småningom borde alltså de fossila bränslena bli utkonkurrerade. När detta sker beror mycket på vilka genombrott som sker i forskningen och konsekvenserna härav på energi- och råvarupriserna.

En intressant fossil råvara som ännu inte kunnat utnyttjas i ekonomisk omfattning är ett ämne som kallas metanklatrat (eller metanhydrat), ett isliknande komplex mellan naturgas och vatten som bildas spontant vid låga temperaturer eller på stora djup vid högt tryck. Hur mycket metan som finns bundet som metanklatrat är okänt men det verkar finnas i enorma mängder på vissa havsbottnar och under permafrosten i Sibirien. I teorin

skulle reserverna antagligen kunna försörja oss med energi under mycket lång tid, men problemet är kostnader, energiåtgång och säkerhet vid utvinning av metanet. I stället kan metan klatrat vara en potentiell källa till bekymmer, eftersom en liten uppvärmning av jordens hav kommer att leda till att en del av det omvandlas till gasformig metan som bubblar upp ur haven och hamnar i atmosfären. Eftersom metan är en cirka 20 gånger effektivare växthusgas än koldioxid, riskerar en sådan utveckling att skynda på den pågående klimatförändringen.

Metaller

Vårt samhälle är starkt beroende av kontinuerlig tillgång till energi och material av olika slag för att fungera, och metaller är ett bra exempel. Halterna av de flesta metaller är mycket låg i jordskorpan, men geokemiska processer när jorden var ung har resulterat i en anrikning av de metalliska grundämnena i mineral av olika slag. När dessa bryts kallas de malmer. Så kallade högvärdiga malmer är sällsynta och värdefulla, och bryts först. Tillgången på dessa har därför minskat, men teknikutvecklingen i gruvnäringen, i vilken kemi spelar en avgörande roll, innebär att man i dag kan ta till vara metaller från malmer som helt nyligen betraktades som ekonomiskt ointressanta.

Kemister har utvecklat anrikningsprocesser, där finfördelad malm blandas med vatten och kemikalier som binder till malm-partiklar och får dem att bilda ett skum som går att avskilja. Vidare har effektivare metoder för separation av metaller och bättre teknik för rening av processvatten utvecklats. Tillsammans har det möjliggjort en effektivare utvinning av metaller. Viktigt är också att kunna ta hand om och utnyttja metallavfall, och detta har växt till en betydande

industri som inte bara sparar miljön utan även är ekonomiskt lönsam.

Till och med utvinning av metaller ur vatten kan bli aktuellt: nyligen har ett ämne utvecklats som kan användas för att specifikt utvinna uran ur havsvatten (det finns cirka 10 miljarder ton uran i löst form i vatten).

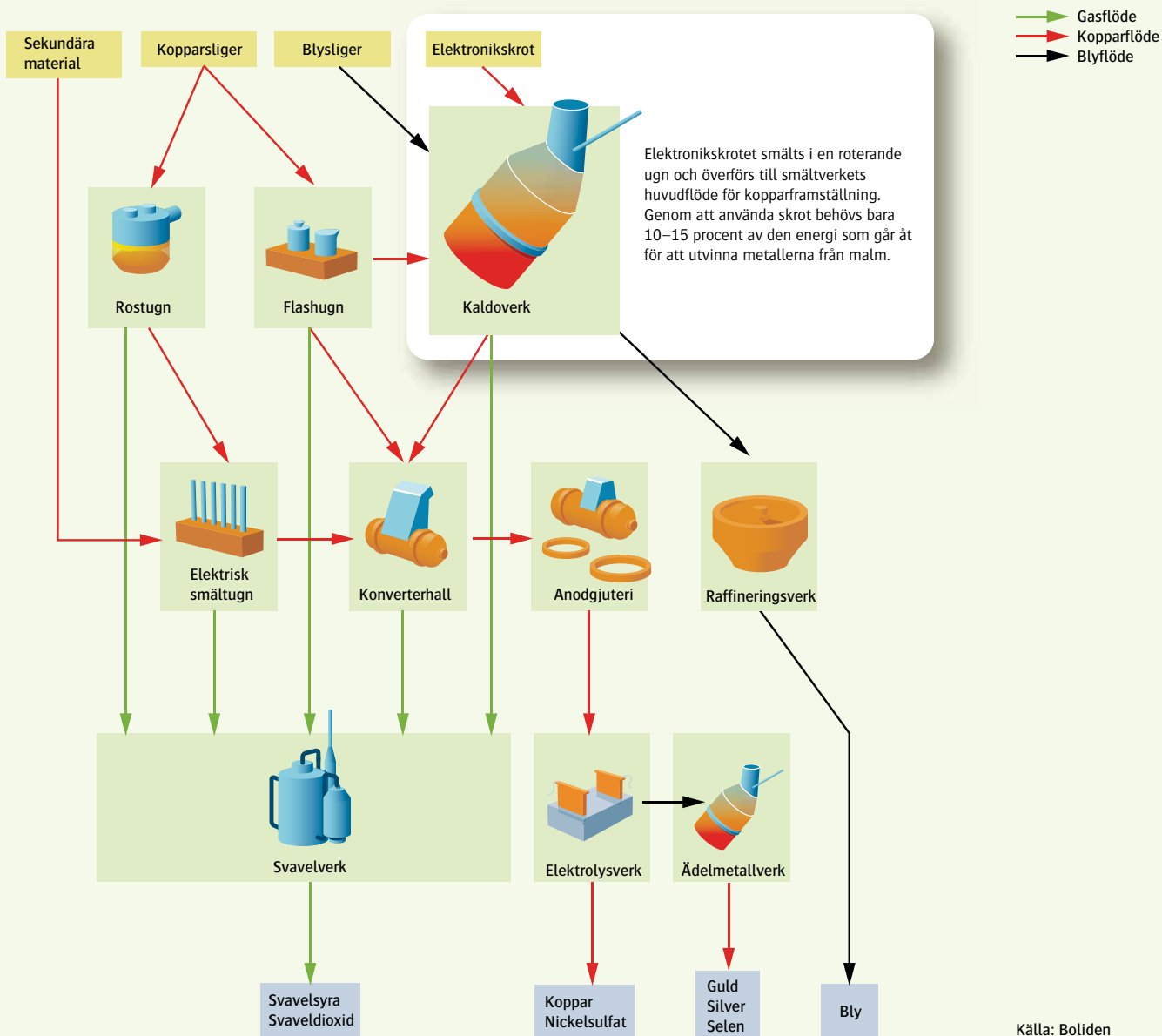
Är vi kvar i järnåldern?

Hur våra samhällen har utvecklats har till stor del bestämts av de material man kunnat använda för redskap och verktyg. Materialen var ursprungligen ben och sten, men blev med tiden metaller. Från början var metallframställning exklusivt och ovanligt, men i slutet av 1700-talet, i takt med att kunskaperna i naturvetenskap spreds, började järn tillverkas i stor skala. Den årliga produktionen i världen steg från 1 miljon ton år 1850 (motsvarande 1 kg per innevånare), till 30 miljoner ton vid förra sekelskiftet och nästan 1 miljard ton år 2000 (motsvarande 150 kilo per innevånare). Denna ökning är en oerhört viktig del av vår välbefinningsökning, och den rikliga tillgången till järn till låg kostnad har sitt ursprung i några framstående kemisters forskning för drygt 200 år sedan.

Andra viktiga metaller som vi använder i stora mängder är koppar och aluminium. Koppar är betydligt lättare att framställa än järn och kom tidigt till användning i legeringar med tenn (brons). Det är framför allt framsteg inom elektrokemin som möjliggjort framställningen av aluminium, som tillverkas där billig elektrisk energi finns tillgänglig. Elektrokemin har även betytt mycket för utvecklingen av högren koppar – av särskilt intresse för elektronikindustrin som är stor konsument av denna metall med sin exceptionellt höga elektriska ledningsförmåga.

Omvänt är skrot från uttjänta elektriska och elektroniska produkter en viktig resurs.

Elektronikskrot – avfall som blir en värdefull resurs



Källa: Boliden

Behovet att kunna återvinna elektronikskrot ökar i världen. På Rönnskärsverken utanför Skellefteå byggs ett så kallat kaldoverk för att tredubbla kapaciteten att ta hand om gamla kretskort och andra komponenter.

Från 120 000 ton elektronikskrot årligen ska bland annat 22 000 ton koppar, 80 ton silver och 7,5 ton guld utvinnas. Högvärdigt elektronikskrot kan ha en guldhalt som är tio gånger högre än malm från en guldgruva.

FN uppskattar att vi globalt ger upphov till 20–50 miljoner kubikmeter elskrot varje år – avfall som innehåller tungmetaller och andra miljöskadliga ämnen, liksom värdefulla metaller som det bara finns begränsade reserver av. Till de senare hör till exempel indium och tellur, som kan behövas i framtidens solceller. Förädlingen av elskrot från miljöskadligt avfall till ren metall är ett av de många bidrag som modern kemisk forskning kan ge till arbetet för att skapa en renare miljö på jorden, och då inte minst i de utvecklingsländer i vilka en stor del elektroniskt skrot samlats.

Metaller som grund för värdefulla material
Framstegen inom metallforskningen har öppnat helt nya möjligheter att utveckla stål med speciella egenskaper. Ett tidigt exempel var så kallat snabbstål, som med lagom kolhalt och tillsatser av legeringsmetaller som volfram och vanadin i kombination med lämplig värmebehandling gav ett stål som kunde användas i verktyg för skärande bearbetning. Ett annat tekniskt viktigt exempel är rostfritt stål, vars upptäckt snart kan fira sitt hundraårsjubileum. Att en legering huvudsakligen bestående av järn skulle motstå rost och till och med starka syror var det få som ursprungligen trodde, förutom några envisa forskare som trodde på sina observationer om korrosionsmotståndet hos stål som innehöll minst 12 procent krom. Betydelsen av rostfritt stål kan knappast överskattas, och det används i dag i massor av tillämpningar. Man fann tidigt att legeringar med en kombination av krom och nickel har särskilt gynnsamma egenskaper, exempelvis den mycket goda formbarheten hos legeringar med 18 procent krom och 8 procent nickel (så kallat 18/8 rostfritt stål). Utvecklingen av alternativa legeringar fortsätter oförtrutet, och det är inte

METALLEN MED SVENSKT NAMN – MEN BARA UTOMLANDS Geologen och kemisten A.F. Cronstedt beskrev 1758 ett nytt mineral, som han på grund av dess höga täthet gav namnet tungsten. C.W. Scheele analyserade mineralet närmare och det fick namnet scheelit, och från kalciumvolframat som det senare visade sig vara kunde andra forskare framställa den nya metallen volfram. Med sin höga smältpunkt blev grundämnet idealiskt för glödtråd i glödlampor, där det värms till en temperatur vid vilken det glöder med ett vitt ljus. Namnet på grundämnet var länge ett tvisteämne. I många andra länder användes det svenska namnet tungsten, medan bland annat vi svenskar tog den tyska benämningen volfram. Kompromissen blev att metallen i internationella sammanhang kallas tungsten medan dess kemiska beteckning är W.



bara rostfrihet som är en intressant egenskap. Ofta är hållfasthet kombinerat med låg vikt avgörande, till exempel i transportindustrin då man vill minimera bränsleförbrukning/koldioxidutsläpp.

En legeringsmetall av stor betydelse i detta sammanhang är vanadin. Liksom andra för svensk industri viktiga råvaror (volfram, tantal) är tillgången knapp och ojämnt fördelad över jorden med stora fyndigheter i Afrika och Kina. Detta gäller också flera av de sällsynta jordartsmetallerna, som är särskilt viktiga för elektronikindustrin. En central uppgift för den kemiska forskningen är att utveckla processer för effektivare återvinning av sådana strategiska råvaror, och då även från de mycket omfattande depåerna av rester från tidigare tillverkning vid metallverk och gruvor.

Volframkarbid bildar tillsammans med kobolt ett material som tack vare sin hårdhet utgör ett alternativ till den dyra diamanten. Materialet kallas hårdmetall, och används inom bland annat bergbörning och skärande bearbetning av metaller. Tillverkning och utveckling av verktyg i hårdmetall blev speciellt

viktig i Sverige, och en orsak till de svenska framgångarna är en kemisk upptäckt. Genom att lägga ett tunt skikt av ett hårt ämne som titankarbid eller titannitrid på hårdmetall, som ju redan är extremt hårt, fick man fram nya och betydelsefulla produkter. Som i fallet med rostfritt stål var det några envisa forskare som gjorde försök med överraskande resultat, och de visade att man genom skiktbeläggning av hårdmetall radikalt kunde öka prestanda hos skärverktyg.

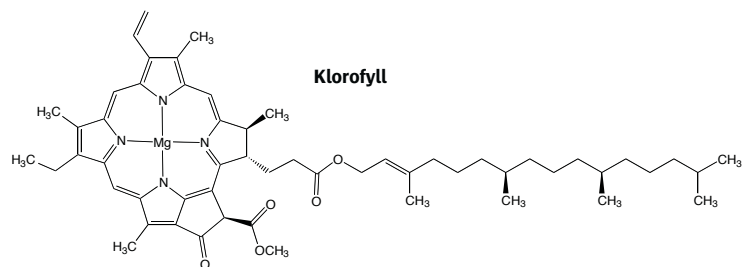
Skogen som råvara

Sverige har under många år varit en av de ledande skogsindustrinationerna vad gäller teknik och utveckling. Vi har tillgång till goda råvaror, och har på ett fördömligt sätt drivit ett framgångsrikt forskningsarbete. Den långfibriga svenska träråvaran har egenskaper som kan utnyttjas för att ge hållfasthet och andra specifika egenskaper åt papper och andra produkter, och kemien har haft stor betydelse för skogsindustrin. För framtiden gäller det att fortsätta att förbättra och ta fram nya processer för framställning av pappersmassa och utveckling av nya pappersprodukter. Det finns dessutom många andra potentiella användningsområden för skogsråvaror, till exempel som konstruktionsmaterial, biobränsle, drivmedel, läkemedel, textilprodukter, livsmedel, färger, lösningsmedel. Man kan se framtidens fabrik för pappersmassa som ett integrerat bioraffinaderi.

Från massabruk till bioraffinaderier

Dagens massaprocesser kan ställas om för att ingå i ett modernt bioraffinaderi. I en sådan processanläggning kan olika vedkomponenter utvinnas och bli råvaror för att framställa allt från olika pappersprodukter och bioplas-

NATUREN – EN FABRIK FÖR GRÖNA RÅVAROR Med hjälp av fotosyntesen producerar ett träd cirka 12 kilo kolhydrater på ett dygn. Under den processen tar det upp koldioxid och släpper ifrån sig syre. Trädet tar också upp vatten som råvara för fotosyntesen. Den omfattande produktionen kan hållas igång med endast 100–150 gram klorofyll, det aktiva gröna ämnet i trädets växtceller.



ter till grundkemikalier som kan användas som råvaror i andra industrier.

Träfibrer byggs upp av fina så kallade cel-lulosafibriller, som skulle kunna bli råvaror för nanoteknik. Fibrillerna har samma styrke-egenskaper som kolfibrer och kan utvin-nas ur trä på ett kostnadseffektivt sätt, vil-ket innebär att skogen kan leverera ett nanomaterial som kan användas i till exempel starka och lätta kompositer, filter av olika slag, barriärmaterial, sensormaterial, och så vidare.

Vedråvaror kan även användas för att till-verka helt nya material för såväl förpacknings-industrin som hygienbranschen. Genom att kemiskt manipulera cellulosaens egenskaper öppnas nya möjligheter. Det går till exempel att lösa upp cellulosa och låta det återforma fibrer i textilier. Textilerna rayon och viskos är gamla cellulosabaserade produkter. Cel-lulosafibrerna kan också modifieras kemiskt för att ingå i kompositer eller helt nya pro-dukter med nya funktioner, som till exempel

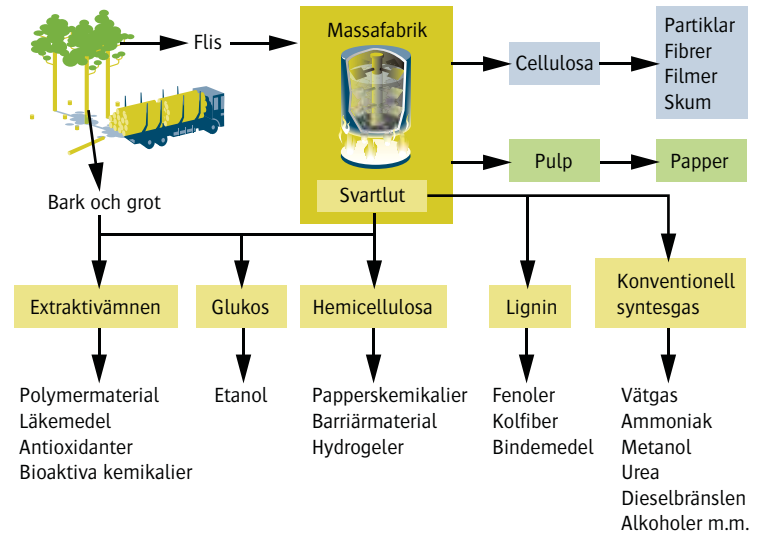
vattenavstötande eller bakteriedödande material där kemi och nätverksstruktur kombineras.

Harts och terpentin är andra gamla kända produkter som vidareförädlas inom bland annat färg- och lackindustrin. Även föreningar med specifika ytkemiska och medicinska egenskaper kan utvinnas ur vedråvaran. Biodiesel baserad på fettsyror i tallolja är en aktuell produkt. Stora förhoppningar finns också om att kunna konvertera vedens kolhydrater och lignin till fordonsbränslet dimeyleter (DME).

Råvaror från annan biomassa

Livsprocesserna i naturen erbjuder en rikedom av möjligheter till utvinning och förädling av råvaror. Förutom traditionella produkter från skogs- och lantbruk finns till exempel biotekniska produkter från odlingar av mikroorganismer. De senaste årens framsteg inom molekylärbiologin och gentekniken har öppnat nya möjligheter för att producera råvaror med önskade egenskaper. En viktig utvecklingslinje är produktion av biomassa för framställning av lämpliga biobränslen för bland annat transportsektorn. Kemin har i detta sammanhang en stor betydelse med dess kunskaper och möjligheter att transformera och förädla biomassan till önskade produkter.

Forskning som syftar till att som råvaror utnyttja alger och andra solenergifångande organismer pågår. En storskalig produktion av bioråvaror från alger skulle dessutom bidra till att sluta kretsloppen för kväve och fosfor, i och med att algerna tar upp närsalter som kväve och fosfor från vatten. Närsalterna skulle också kunna fångas upp i stora våtmarksanläggningar som skulle ge användbar biomassa.



I ett modernt bioraffinaderi kan flera olika komponenter utvinnas ur trä för att bli råvaror för till exempel bioplaster med skräddarsydda barriäregenskaper (från hemicellulosa), kolfiber (från lignin), specialkemikalier till färg- och lackindustrin och för limning liksom finkemikalier till läkemedels- och kosmetikaindustrin samt pappersindustrin (från vedens så kallade extraktivämnen såsom fettsyror, terpentin, hartssyror och estrar). Läs mer om vedens olika komponenter i kapitlet om material, sidan 49.

Bättre livscykelanalyser ett viktigt verktyg

”Av jord är Du kommen – jord skall Du åter bli.” Så summerar prästen den avlidnes liv i begravningsritualen efter att ha berättat om den dödes leverne. På motsvarande sätt går det att göra ett bokslut över den resursförbrukning och påverkan på omgivningen som en produkt har orsakat under sin livstid – från det att den tillverkats tills den brutits ned och återgått till jorden. En sådan studie kallas livscykelanalys eller LCA. Om två produkter kan fylla samma funktion bör man välja den som under sin livscykel förbrukar minst resurser och som lämnar minst skadliga spår efter sig i omgivningen under sin livstid. Men det som kan verka tämli-

gen självklart visar sig vara ganska komplicerat om man försöker göra en ingående bedömning av en produkts samlade miljöpåverkan.

Födelse

Varifrån ska man räkna födelsen? Följer vi begravningsritualens text börjar vi där råvarorna till produkten tas ur jorden. Låt oss titta på en basvara som till exempel stål. Det hela börjar med brytning av malm och kol – men vilken malm och vilket kol? Är det en rikhaltig malm som inte kräver anrikning, eller är det en fattig malm som måste anrikas innan den går in i masugnen? Hur långt har malmen rest innan den kom till masugnen och på vilket sätt? Hur effektivt är det stålverk som processar malmen? Tar stålverket även in skrot och varifrån får det sin elkraft? Allt detta påverkar naturligtvis hur mycket resurser som har förbrukats, liksom utsläppen av koldioxid och andra avgaser, slaggprodukter och vattenföroreningar med mera. Stål av en given kvalitet är alltså i ett LCA-perspektiv inte någon definierad produkt ur miljöpåverkanssynpunkt: den beror på hur stålet ”fötts fram”.

Liv

Varje produkt är framtagen för att under sin livstid fylla en given funktion. Hur ser bokslutet över den funktionen ut ur miljösynpunkt? Låt oss titta på en vardaglig och nödvändig produkt som smörjolja, som består av en basolja plus kemiska tillsatser. Den kan framställas antingen ur råolja eller ur vegetabiliska oljor. Antag att tillverkningen av en liter mineralolja släpper ut dubbelt så mycket fossil koldioxid som rapsolja producerad i ett mekaniserat jordbruk, men att de ur övriga miljöaspekter från tillverkningen är likvärdiga. Smörjmedlet baserat på mineralolja har på grund av sin oxidationsstabilitet tre gånger så lång livstid i smörjtillämpningen jämfört

med det baserat på rapsolja. Nackdelen är att mineraloljan är biologiskt svårnedbrytbar. Vilken ska jag välja? Det beror på vilken tillämpning det gäller. Finns smörjoljan i ett slutet system, och jag kan ta hand om den när den behöver bytas, ska jag självklart välja det mineraloljebaserade smörjmedlet. Om oljan däremot kommer att läcka ut blir resonemanget ett annat. Oljan som smörjer sågkedjan på en motorsåg hamnar snabbt i omgivningen när du använder sågen. I detta fall är det rapsoljebaserade smörjmedlet ett bättre val.

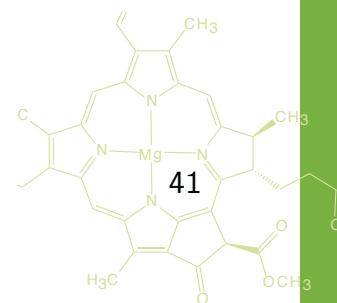
Jämförelsen går också att föra vidare till hur väl smörjoljor fyller sin funktion. En syntetisk motorolja fungerar bättre än en förnybar vegetabilisk olja och sänker bensinförbrukningen i en bilmotor med cirka en procent. Om bilmotorn innehåller tre liter olja betyder detta att syntetoljan är koldioxidneutral efter det att jag kört upp 500 liter bensin, och reducerar därefter utsläppen fram till dess att den behöver bytas ut efter cirka 3 000 mil.

Att göra ett rättvisande bokslut över en produkts aktiva liv kräver sålunda ingående kunskaper om var och hur den använts. Att välja produkt enbart på basis av deklarerade miljöbelastningar från dess tillblivelse kan bli helt missvisande. Miljökostnaderna från en produkts tillblivelse måste ställas mot kvaliteten i arbetet som produkten gör under sitt aktiva liv.

Död

Vad händer med min produkt när den tjänat ut och ”åter skall bli jord”? Även här blir alternativen många och konsekvenserna för miljön högst varierande. Låt oss titta på tre alternativ: deponering/dumpning, energiåtervinning/destruktion och återanvändning/materialåtervinning.

Det första alternativet är nästan alltid det sämsta – speciellt om produkten i fråga är



toxisk. Det enda undantaget utgör helt nedbrytbara ogiftiga ämnen eller inerta ämnen som inte reagerar med sin omgivning, till exempel rapsolja och betong, som befinner sig så långt ifrån insamlingsstället/sopstationen att miljökostnaderna för insamling överstiger värdet med att ha den utrangerade produkten på ett ställe.

Ett utmärkt exempel på bra materialåtervinning är aluminium. Återvinning av begagnade burkar drar bara en tiondel av den energi som går åt för att framställa aluminium från bauxit, dessutom behöver man ju inte bryta mer av mineralet. Detsamma gäller många andra material, och EU-lagstiftningen föreskriver också att om något går att återvinna ska man göra det.

Återanvändning kan alltså vid ett första påseende se ut att vara det alternativ som alltid ska eftersträvas, men vid närmare analys visar det sig att destruktion med energiåtervinning kan vara att föredra. Organiskt kemiska produkter har normalt ett värmevärde om de destrueras genom förbränning. Tas värmen från destruktionen med får produkten en fördelaktigare LCA-kalkyl. Återvinning av begagnade smörjoljor är ytterst tveksam, eftersom det går åt ungefär dubbelt så mycket energi vid reraffineringen som vid tillverkning ur råolja. Har man rätt utformade förbränningsanläggningar går det lika bra att bränna begagnade smörjoljor som att elda eldningsolja, och de ger lika mycket värme. Det är således miljömässigt fördel-

ATT TA HÄNSYN TILL I VALET AV PRODUKTER UTIFRÅN LCA-DATA

- Är produkterna bedömda efter samma system/standard?
- Är startpunkten (födelse) och slutpunkten (död) desamma
- Hur kommer produkten att hanteras under sitt liv och hur stämmer det med de antaganden som görs i LCA-bedömningen?
- Var skeptisk till LCA-data som används i reklam syfte. Ofta innehåller de bara data från en schabloniserad födelse och död, men inget om livet däremellan.



aktigare att låta råoljan ta vägen över smörjmedel innan den bränns.

Märkningssystem och behovet av bättre LCA-data

För att hjälpa den vanlige konsumenten i val av produkter har man utformat olika miljömärkningssystem. Problemet är bara att en produkts miljöpåverkan beror på hur den hanteras under sin livscykel. De generella märkningssystemen gör antaganden om vad en viss produkt genomlever under sin livscykel. Därför är de olika märkningssystemen inte alltid överens i sin bedömning av en vara. En trovärdig miljöbedömning kräver en noggrann LCA och detta i sin tur kräver ingående kunskaper. Tyvärr finns det inga genvägar.

Kemiska kunskaper har en nyckelroll i alla livscykelanalyser. LCA-data behövs för att konsumenterna ska kunna göra kloka val. Kemi kan också användas för att redan från början utforma material och produkter för att de ska förbruka så lite resurser som möjligt.

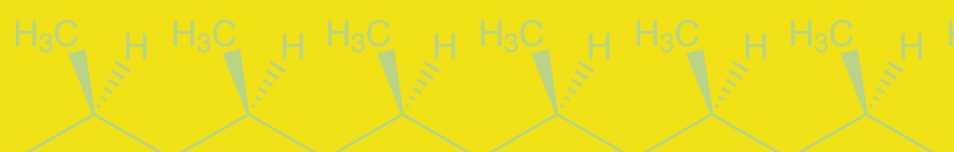
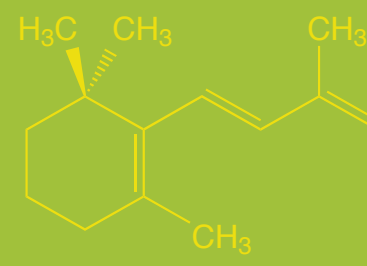
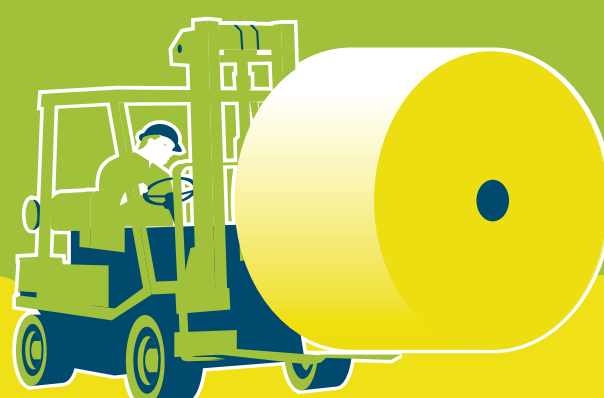
- Med kemins hjälp kan industriella processer göras mer resurssnåla.
- Effektivare återvinningsmetoder gör att vi kan hushålla med våra ändliga råvaror. Avfallsåtervinning kan ge råvaror för nya produkter – till exempel kan eskrot omvandlas till rena metaller.
- Med kemins hjälp kan effektivare metoder för att utvinna metaller från malmer utvecklas.
- Fossil olja ger oss energi och en lång rad kemikalier. Nya alternativa råvaror behöver tas fram i takt med att det blir allt svårare och dyrare att komma åt reserver av olja och andra fossila råvaror.
- Med hjälp av kemiska processer kan alla komponenter i trädråvara användas i större utsträckning än i dag.
- Inför valet mellan olika produkter ger rätt genomförda livscykelanalyser värdefull vägledning för vilken resursförbrukning och påverkan på omgivningen olika alternativ orsakar under sin livstid.

NYA MATERIAL SOM ÄR SMARTA, SNÅLA OCH STARKA

Material med specifika egenskaper gör livet lättare och behagligare. Elektroniken som får din dator att fungera är beroende av olika avancerade material. Det samma gäller komponenter som gör bilar lätta och säkra, liksom många olika typer av papper och plast som du använder varje dag. En CD-skiva och en wire i kolfiberplast är två exempel på smarta plastmaterial med unika egenskaper. Alla sådana viktiga material är resultatet av kemisk kunskap, forskning och uppfinningsrikedom.

Insatser inom materialområdet är också avgörande för att vi ska kunna förädla inhemska råvaror till vassa produkter som vi kan sälja på världsmarknaden. Detta ger årliga exportintäkter på hundratals miljarder kronor och är basen för många stora företag i Sverige. Att dessa företag är världsledande inom viktiga områden har ofta en grund i satsningar inom material- och kemiforskning.

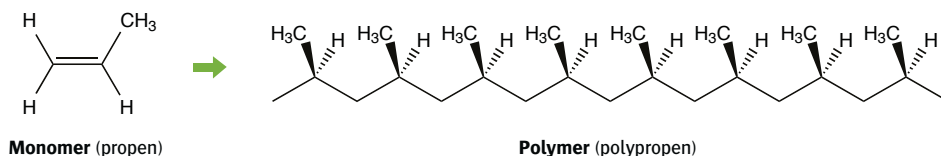
Fortsatt forskning inom materialområdet väntas resultera i att framtidens material kommer att förbruka mindre resurser i form av energi och råvaror. Dessutom kommer nya material i ökad utsträckning att baseras på förnybara råvaror, och de kommer i högre grad än i dag att kunna återvinnas. Nya innovationer inom materialområdet kommer också att göra det möjligt att framställa material med helt nya egenskaper, mycket tack vare nanoteknik.



UTMANINGARNA INOM MATERIALOMRÅDET är stora. För att tillgodose morgondagens behov av energisnålare tillverkningsprocesser, förnybara råvaror, lätta konstruktionsmaterial och material med avancerade funktioner krävs stora forskningsinsatser. Vi behöver lätta material med bra egenskaper för framtidens fordon, konstruktionsmaterial som kräver mindre energi och råvaruresurser att tillverka, och som samtidigt har förbättrade egenskaper. Framtidens material måste också klara stora belastningar, höga temperaturer och aggressiva miljöer. Och vi behöver smarta högpresterande material som anpassar sig efter och kan hantera olika förhållanden. Samtidigt som vi önskar att elektronikkomponenter ska ta allt mindre plats vill vi att de ska bli mer avancerade – lösningen kan vara att vi bygger framtidens komponenter från de minsta byggstenarna, atomerna, i stället för att som nu sträva efter att förminska dagens komponenter. Detta kapitel handlar om kemins viktiga roll inom forskning och utveckling som syftar till att ta fram nya material som är smarta, snåla och starka.

Polymera material

En viktig grupp av material är olika polymerer, som har otaliga användningsområden inom alla delar av samhället. En polymer är en stor molekyl sammansatt av många små, i allmänhet strukturellt identiska molekylenheter, monomerer, som är kopplade till varandra så att de bildar en lång kedja, en makromolekyl. Polymera material framställs genom en kemisk reaktion som benämns polymeri-



EUROPEISKT CENTRUM FÖR MATERIALFORSKNING Den svenska regeringen beslutade i februari 2007 att erbjuda värdskapet för European Spallation Source (ESS), som är en neutronsplattionskälla där neutroner kommer att användas för avancerade studier av strukturen hos material av olika slag. Stora förhoppningar knyts till anläggningen i Lund, som kommer att vara världens kraftfullaste i sitt slag. De första neutronerna beräknas produceras omkring år 2019 och anläggningen vara i full drift cirka år 2025. Många forskare är dock oroliga över att de vetenskapliga landvinningarna inte kommer att stå i proportion till kostnaden och att annan forskning kommer att bli lidande. Konstruktionskostnaden beräknas till 14 miljarder kronor och driftskostnaden blir nära en miljard kronor per år. Ett annat stort projekt i Lund, om ock på betydligt modestare ekonomisk nivå, är den planerade utbyggnaden av elektronlagringsringen MAX (MAX IV), med ett brett användningsområde inom en rad experimentella vetenskaper, inklusive materialfysik och materialkemi. MAX IV kommer att erbjuda möjligheter till unika studier av den inre strukturen hos material av teknologiskt intresse, liksom av proteiner för studier av biologisk funktion och mycket annat.

AVANCERADE POLYMERER Nobelpriset i kemi 2005 tilldelades en fransk forskare, Yves Chauvin, och två amerikaner, Robert H Grubbs och Richard R Schrock, för deras utveckling av en syntesmetod, så kallad metates. Med hjälp av denna metod kan polymerer med avancerade egenskaper framställas. Polymererna har fått användning i sportutrustning där höga krav ställs på materialens egenskaper, till exempel okrossbara basebollträn. Med hjälp av metates kan man också framställa plast som stoppar pistolkulor, och således tillverka skyddskläder som inte bara är skottsäkra utan även lätta att bära.

sation där monomererna reagerar genom att stegvis länkas samman för att till slut bilda den polymera makromolekylen. I ett poly-

mert material ingår förutom själva polymeren också en eller flera tillsatser, så kallade additiver, som tillför eller modifierar någon egenskap hos materialet, till exempel helt enkelt gör det lättare att forma.

I dagligt tal brukar vi benämna polymerer som plaster, men materialgruppen är större än så och rymmer även gummi och polymerer i färger och lim. Biologiskt material i naturen utgörs till stor del av olika polymerer. Cellulosa är en av de vanligaste förekommande naturliga polymererna.

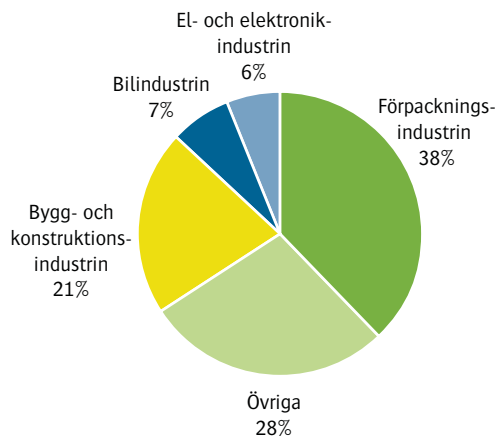
Plaster

Ordet plast betyder plastisk, flexibel eller formbar och det är precis detta som utmärker plasterna – de är fasta material vid rumstemperatur men kan värmas och blir vid högre temperaturer så flexibla, ofta helt flytande, att de går att forma. Dagens plastmaterial görs av små molekyler som erhålls vid krackning av råolja. Omkring fyra procent av världens råolja används till plast.

Råoljan hettas upp i raffinaderier och kol-föreningarna i oljan bryts då ned till mindre molekyllära enheter med hjälp av katalysatorer. De små molekyllerna blir i ett senare steg byggstenar som kan reagera med varandra (polymeriseras) till långa molekyler.

Om en plast blir hård eller mjuk, eller har andra egenskaper, bestäms till stor del av hur långa och hur förgrenade polymerkedjorna är. Med dagens kunskaper i kemisk syntes kan kedjelängd och struktur hos polymerer kontrolleras ganska väl. Det gör att plaster med vitt skilda egenskaper går att framställa. Produkterna kan delas in i termoplaster och hårdplaster. En termoplast består av molekyllkedjor som attraheras till varandra genom svaga bindningar. Den kan smältas, formas om och användas igen. Hårdplasternas kedjor bildar nätverk där molekyllkedjorna är hårdare bundna till varandra, vilket gör att hårdplast behåller sin form i värme.

Användningsområden för plast i Europa 2008



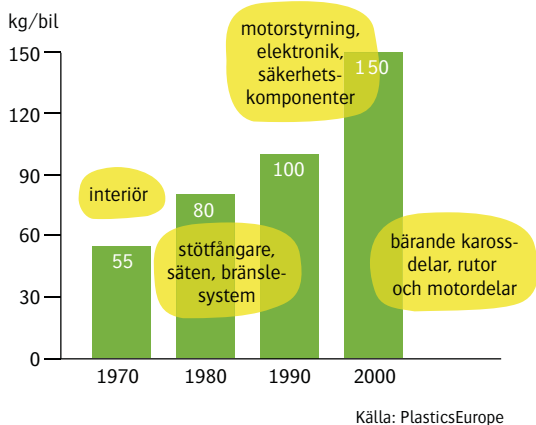
Källa: PlasticsEurope

Plast används inom nästan alla branscher, framför allt som förpackningar och i byggnader, fordon och elektronik. På vissa områden är plasterna de enda material som går att använda och de spelar en viktig roll vid många teknologiska genombrott. I genomsnitt använder en person i Europa omkring 100 kilo plast per år.

VISSTE DU ATT... fläckar som kan bli kvar på plasten i till exempel matlådor beror på att färgämnen i vissa livsmedel är små molekyler, ganska lika plastens monomerer. De kan ta sig in i plastmaterialet och binda till polymerkedjorna, och alltså bli en del av plasten.

Att plast tidigare hade ett rykte att hålla dåligt berodde till en del på att tillverkningen och egenskaperna inte var ordentligt optimerade då de olika plastmaterialen fick sitt genombrott på 1960-talet. I dag har vi lärt oss att tillverka plaster med noga kontrollerade egenskaper. I plastens barndom kunde solljus snabbt förstöra till exempel styrenplast så att den blev skör. I dag löser plastindustrin detta genom att

Användning av plast i bilar



Andelen plast i bilar beräknas öka med tre procent varje år. Förutom att ge en stor frihet i formgivningen gör plasterna bilarna lättare så att de förbrukar mindre bränsle. Beräkningar som gjorts visar att ett kilo plast i en bil ersätter traditionella material som väger 2,5 gånger mer. En personbil består till över tio viktprocent av plast och mindre bilar kan innehålla så mycket som en femtedel plast.

tillsätta stabilisatorer. Ofta används kolpulver och andra färgpigment.

Genom att lära sig mer om plastens egenskaper är det också möjligt att optimera egenskaperna. För att producera en stark plast behöver man framför allt öka längden (molekylvikten) på polymerkedjorna i materialet. Nackdelen är dock att plasten då blir stelare och svårare att forma och bearbeta. En lösning är att blanda kortare och längre kolkedjor, vilket ger ett material som både är starkt och formbart.

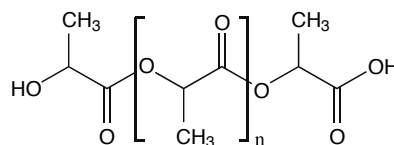
Genom att tillverka plast där polymerkedjorna, i stället för att lägga sig i välordnade strukturer, ligger huller om buller, går det också att få en genomskinlig plast. Den får egenskaper ungefär som ett glas, eftersom de oordnade molekylkedjorna inte reflekterar ljus i samma utsträckning som ordnade ked-

or. Till exempel har transparent propenplast under senare år blivit ett populärt material för till exempel emballage.

Polymera material från förnybara råvaror – Gröna material

Naturen har sedan urminnes tider byggt strukturer av makromolekyler. Proteiner, gluten, stärkelse, cellulosa, kitosan, lignin och arvmassans DNA är bara några exempel på naturens rikedom vad gäller polymera material. DNA är dock inte en polymer i vanlig mening, uppbyggd av identiska monomerer. Istället är det en makromolekyl i form av en dubbelspiral uppbyggd av kedjor bestående av socker och fosfatenheter på vilka fyra olika baser – adenin (A), guanin (G), tymin (T) och cytosin (C) – är fästade. Dessa utgör den digitala koden i arvmassan.

En utmaning för framtida framställning av polymera material är att kunna utgå från monomerer som inte är baserade på råolja och andra fossila källor. Ett exempel är att bygga upp polymerer från mjölksyra. Mjölksyra kan framställas genom en bioteknologisk process som utgår från majsstärkelse eller någon annan lämplig råvara. Mjölksyran kan bilda en polymer, polylaktid, som är en termoplast och kan användas i många olika sammanhang. Ett användningsområde är som förpackningsmaterial, men även biomedicinska applikationer finns eftersom polylaktiden accepteras som en kroppsegen substans.



Polylaktid

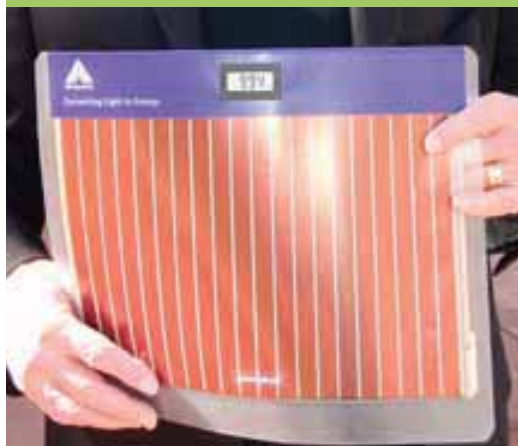
Ledande polymerer – framtidens material
Polymerer används inte bara som konstruktionsmaterial. Om deras elektronstruktur modifieras och de ”dopas” genom tillsatser av andra ämnen kan de bli elektriskt ledande, en upptäckt som belönades med Nobelpriset i kemi år 2000. I sin enklaste form är ledande polymerer plaststrängar som förutom att leda elektricitet kan förändra sin ledningsförmåga vid fysisk påverkan, till exempel om de tänjs ut, värms upp eller träffas av solljus. Omvänt påverkas polymerernas egenskaper av elektricitet.

Forskning och utveckling inom området har gett upphov till viktiga praktiska tillämpningar. Ledande plaster används, eller är under industriell utveckling, i till exempel ”smarta” fönster som kan utestänga solljus, ljusdioder och solceller samt i displayer på mobiltelefoner och TV-skärmar i miniformat. Ledande polymertrådar kan också vävas in i kläder och tyger för att ge produkten elektriskt ledande egenskaper.

En av de viktigaste nya tillämpningarna av ledande polymerer utgör tillverkningen av solceller. I dessa gör solljuset att elektroner i polymeren flyttar sig längs polymerkedjorna och sedan hoppar över till elektroder som omger cellen och vilka kan leverera el för olika användningar. Verkningsgraden hos de senaste solcellerna är upp emot åtta procent, men det är inte genom sin verkningsgrad som polymera solceller utmanar övriga typer av solceller. Den största fördelen med den här typen av celler är att tillverkningen är mycket enkel, vilket i framtiden möjliggör att mycket billiga solceller kan framställas. Tillverkningsmetoden som används i dag baseras på vanliga tryckprocesser, sådana som används för till exempel flerfärgstryck.

Det aktiva materialet i polymera solceller består av en blandning av ledande polymerer och ”kolbollar” (fullerener). Beroende på den

VISSTE DU ATT... det redan finns polymera solceller utvecklade för den kommersiella marknaden. Till exempel går det att köpa väskor med polymera solceller som kan användas för att ladda mobiltelefoner, mp3-spelare och datorer.



Bilden visar en polymer solcell tillverkad genom spraymålning. Det aktiva solcellsmaterialet har helt enkelt sprayats på ytan – det kan inte bli mycket enklare att tillverka solceller!

kemiska strukturen på polymererna varierar effektiviteten på solcellerna. Tjockleken på materialet är endast cirka 100–300 nanometer, vilket innebär att det går åt väldigt lite material vid tillverkningen. För att cellerna ska vara effektiva måste man åstadkomma en optimal blandning av de två materialen med en mycket stor gränsyta och med väldigt små strukturer. Framgångsrik forskning inom området pågår i Sverige med bland annat polymerframställning och solcellstillverkning.

Gummi

En del polymera material uppvisar elastiska egenskaper vid normala temperaturer. Naturgummi som har utmärkt elasticitet kan utvinnas ur en rad växter och har länge

använts av människan. Ett viktigt steg för användningen var vulkaniseringen som innebär en kemisk behandling som resulterar i tvärbindingar mellan polymerkedjorna. Utvecklingen inom gummiindustrin har lett till att vi har tillgång till en mängd gummimaterial med vitt skilda egenskaper. Flera av dagens gummimaterial skiljer sig mycket på molekylär nivå från naturgummi. Fortfarande väljer man dock gärna naturgummi när man behöver en utmärkt elast, som till stora lastbilsdäck. Om elasticiteten inte är tillräcklig blir däcken alldeles för snabbt varma. I dag finns också elaster som uppvisar hållbar elasticitet utan kovalenta tvärbindingar och de är därför lätta att bearbeta.

Färger, lacker och lim

Polymerer är viktiga komponenter i färger, lacker och lim. Kemi och kemikunskaper har stor betydelse för utvecklingen av nya produkter. Den industriella utvecklingen inom området bygger i stor utsträckning på mycket gamla traditioner och kunskaper byggda på erfarenhet. Den moderna kemin har emellertid erbjudit möjligheter att förstå och utnyttja råvarornas polymer- och ytkemiska egenskaper. Många nya produkter har utvecklats och området har givit upphov till en stor industri där Sverige intar en betydande position.

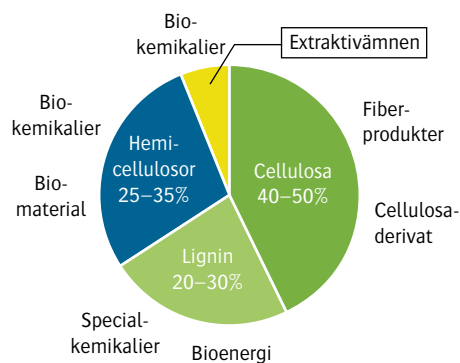
Träfibrer ger gröna material med nya funktioner

Trä är ett användbart material som hjälpt oss att bygga upp dagens samhälle, inte bara som byggmaterial utan också genom att utgöra råvara för värdefulla exportvaror. Trävaror och pappersprodukter är viktiga för landet och de inbringar stora inkomster till svenska industrier. Dessutom har träden alltid varit viktiga som vedråvara för värme och energi.

NYA MATERIAL FRÅN SKOGSRÅVARA I Örnsköldsvik finns ett bioraffinaderi med specialcellulosa, lignin och bioetanol som huvudprodukter. Nya investeringar har gjorts i produktion av specialcellulosa. Den används bland annat i viskosityger och hygienprodukter, där den utgör ett alternativ till bomull, liksom som konsistensgivare i livsmedel och målarfärg. Investeringar görs också för att producera mer lignin som till exempel används som tillsatsmedel i betong och gör att cementen utnyttjas effektivare.



Träkomponenter och deras användningsområden



Trä består bara till knappt hälften av cellulosa, som bland annat blir olika pappersprodukter. Även övriga polymerer i form av hemicellulosor och lignin kan användas som förnybara råvaror för en lång rad produkter. Detsamma gäller så kallade extraktivämnen som består av ett stort antal olika små bioaktiva molekyler, bland annat kådans komponenter samt olika fetter och fenoler.

Sverige har under många år varit en av de ledande skogsindustrinationerna vad gäller teknik och utveckling. Kemin har mycket stor betydelse för skogsindustrin när det gäller fortsatt förbättring och nyutveckling av processer för framställning av pappersmassa och utveckling av nya pappersprodukter.

Sverige har goda råvaror och vi har på ett föredömligt sätt drivit ett framgångsrikt forsk-

VISSTE DU ATT... svensk cellulosa finns i NASA:s rymdkapslar. Tråd av specialcellulosa används i det specialtyg som finns i rymdkapselns värmesköld. Specialtyget har unika egenskaper vad gäller värmebeständighet.

ningsarbete. Den långfibriga svenska råvaran har egenskaper som kan utnyttjas och tillföra specifika produktenskaper. Den djupa kunskap som finns i Sverige om papperstillverkning och om hur fibrer kan hanteras är en tillgång i jakten på nya förnybara material med egenskaper som ger nya funktioner.

Inom skogsindustrin utvinns cellulosa-fibrer (pappersmassa) ur veden. Cellulosa bygger upp växters cellväggar. Det är en polymer som består av långa kedjor av sockerarten glukos. Cellulosakedjor kan innehålla flera tusen glukosenheter och de packar sig i buntar som kallas fibriller. Dessa bildar nätverk, vilka i sin tur bygger upp fibrerna.

I dagens massafabriker behandlas veden antingen på kemisk eller på mekanisk väg för att frilägga cellulosa-fibrerna. Fibermassan kan sedan användas för produktion av papper och pappersprodukter. Ökad konkurrens från omvärlden har medfört ett ökat intresse för hur vi ska använda vår skogsråvara på ett så effektivt sätt som möjligt. Ett viktigt led i denna strävan är att utnyttja alla de kemikalier som finns i veden. Potentiella användningsområden för skogsråvara är många: biobränsle, drivmedel, läkemedel, textilprodukter, livsmedel, färger, lösningsmedel med mera. Framtidens fabrik för pappersmassa går att se som ett integrerat biraffinaderi (läs mer i kapitlet om råvaror och resurser). Svensk skogsindustri får här utnyttja sin kemiska kompetens för att finna nya vägar framåt.

Kompositerna erbjuder det bästa av två världar

En komposit är ett material som är sammansatt av två eller flera materialkomponenter vars egenskaper kompletterar varandra. Till exempel kan ett hårt men sprött material blandas med ett som är svagare men segare. Kompositen blir då stark och tål påfrestningar utan att spricka, och får alltså andra egenskaper än de två komponenterna var för sig. Ofta är det mekanisk styrka man är ute efter. Exempel från vardagen är armerad betong och glasfiberarmerad plast. Kunskaperna om olika material och hur de kan användas i kompositerna för att ge önskade egenskaper bygger till stor del på kemi.

Fiberarmering av plast är en klassisk tillämpning av kompositprincipen. Plastmaterial är ofta sega, men har relativt låg draghållfasthet och deformeras lätt. Genom att armera plasten med glasfiber får man ett material som kombinerar plastens seghet med glasfibers höga draghållfasthet. Man kan styra fiberriktningen och därigenom särskilt förstärka materialet i vissa riktningar. Än mer extrema egenskaper kan fås om glasfibern ersätts av den ännu starkare och lättare kolfibern. Kolfiberarmering är påtagligt dyrare än glasfiberarmering, men de mekaniska egenskaperna är svåröverträffade. Kolfiberarmerade material finner växande tillämpning inom flygindustrin.

Armerad betong är ett storskaligt exempel på en komposit. Betongen är hård och utgör ett utmärkt konstruktionsmaterial, men den är relativt skör, och en spricka kan lätt fortplanta sig i materialet. Genom att gjuta in armeringsjärn kan sprickutbredning hämmas genom att armeringsjärnet med sin större seghet håller ihop betongen.

Dessa exempel visar på de mekaniska fördelarna med att blanda två komponenter med olika egenskaper.

Kompositer i naturen

Många material i naturen är blandningar av olika komponenter som samverkar och ger materialet dess karakteristiska egenskaper. Trä är ett exempel på en naturlig komposit, med cellulosa fibrer som ger styrka och lignin som fungerar som bindemedel. Lignin är liksom cellulosa en polymer, men inte lång och rak som cellulosa utan kraftigt förgrenad, och lignin tvärbinder cellulosa fibrerna så att strukturen håller ihop.

Ben är en annan komposit och består främst av apatit och kollagen, där det förra är ett hårt mineral medan det senare är ett fibröst protein. Ben är uppbyggt av cirka 70 procent apatit och 30 procent kollagen vilket gör benet hårt men ändå segt. Tändernas emalj är uppbyggd enligt samma princip, men den innehåller 98 procent apatit, vilket gör emaljen mycket hård. Apatitkristallerna i ben är nålar med en längd på 40 nanometer och en bredd kring tre nanometer.

Kompositer med specifika egenskaper

På senare år har en rad intressanta kompositer med viktiga och användbara elektroniska, magnetiska och optiska egenskaper utvecklats. Kompositer i form av dopade halvledare liksom komponenter med elektrisk ledningsförmåga eller med magnetiska egenskaper är i dag vanliga inom elektrotekniken.

Optiska fibrer gör det möjligt att skicka data- trafik över längre avstånd med hjälp av ljuspulser. De tunna trådarna är kompositer där materialet i kärnan har lägre brytningsindex än materialet i det omgivande höljet.

Funktionerna hos avancerade kompositer är inte lätta att beskriva med några få ord, men de har avgörande betydelse inom en rad områden och är därför viktiga för morgondagens exportindustri. För att Sverige ska vara kvar i materialforskningens frontlinje måste den kemiska forskningen inom området vara fortsatt framgångsrik.

CEMENT – ETT MATERIAL DÄR DET PRAKTISKA KUNNANDET HAR FÖREGÅTT DEN VETENSKAPLIGA FÖRSTÅELEN

Cement var känt som byggnadsmaterial under antiken. Tillverknings tekniken föll i glömska men återupptäcktes i slutet av 1700-talet. Cement framställs genom att upphetta en blandning av kalksten och lera till höga temperaturer. Då bildas ett trikalciumsilikat innehållande aluminium och järn. Från fabriken levereras cementen som ett fint pulver av partiklar med storleken 10 till 100 mikrometer. För att få betong blandas cementen med sand och vatten till en trögflytande smet som hålls i gjutformen och där långsamt övergår till ett hårt och starkt material. Först nyligen har man vetenskapligt förstått det kemiska förloppet under omvandlingen. När partiklarna från cementet slammas upp i vatten löses de långsamt upp medan föreningen kalciumsilikathydrat faller ut och bildar små flaklika nanopartiklar som är mycket mindre än sandkornen och de ursprungliga partiklarna. I den starkt basiska miljön får partiklarna en stark negativ laddning på ytan. Normalt gör en sådan ytladdning att partiklarna stöter ifrån varandra elektrostatiskt. Det finns dock en esoterisk effekt, kallad jonkorrelationsattraktion vilken 1984 upptäcktes av svenska forskare. Den gör att när partiklarna fått en tillräckligt hög laddning går den elektrostatiska kraften över i en attraktion. I samarbete med franska forskare har de svenska forskarna visat vid vilken punkt detta sker. När denna punkt nås börjar betongen stelna eftersom nanopartiklarna av kalciumsilikathydrat fäster på sandkornen och binder dem samman. Den kemiska processen fortsätter sedan långt efter det att betongen i formen blivit fast. Slutprodukten blir ett starkt men poröst material.

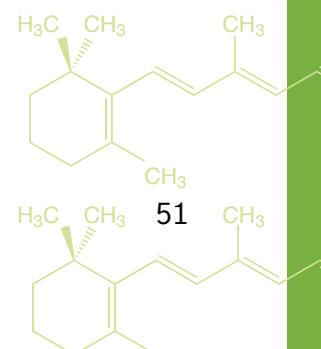


Nanoteknik

– den mikroskopiska världens lego

Nanovetenskap är ett forskningsområde till vilket det knyts stora förhoppningar. Många tillämpningar ligger i framtiden, men det finns också exempel på användningsområden där nanoteknik redan är i bruk. Utvecklingen har möjliggjorts tack vare utveckling av mikroskop varmed enstaka molekyler (och ibland även atomer i kristallina material) kan observeras.

En nanometer är 0,000000001 meter, eller en miljondels millimeter. Små molekyler är



en halv till en nanometer stora. Inom nanotekniken studeras strukturer som är mellan 1 och 100 nanometer stora. Syftet är att ta fram nya material med unika egenskaper. Man kan tycka att det inte borde spela någon roll om ett material är uppbyggt av små eller större strukturer, men så är faktiskt fallet. I en liten partikel utgör atomerna på ytan en stor andel av det totala antalet atomer, medan antalet atomer på ytan är försumbart i förhållande till det totala antalet i en större partikel. I en större partikel är därför ytomernas betydelse för materialets egenskaper försumbar, men i en nanoskopisk partikel har de stor betydelse, och det är något som kemisterna kan utnyttja.

En liten teknik med stor potential

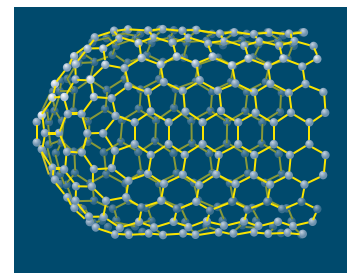
Det är lätt att tro att nanovetenskap bara handlar om att göra saker mindre, alltså miniatyrisering, och visst är detta en viktig aspekt på vad som kan åstadkommas, inte minst inom datavärlden där man hela tiden strävar efter att öka kapaciteten och hastigheten samtidigt som energiåtgången minskar. Vår så viktig är dock att många egenskaper i ett material förändras radikalt då man närmar sig små dimensioner. Detta har faktiskt varit känt sedan länge, men det som fått nanoområdet att växa så dramatiskt under senare år är de teknologiska framsteg som tillåter oss att analysera och i många fall manipulera nanometerstora objekt.

Fysiken har länge dominerat halvledarvärlden och med olika tekniker har allt mindre strukturer kunnat mejslas ut ur ett material, till exempel i en kiselkristall – man talar här om en top-down-teknik. Tekniken har främst varit fotografisk etsning av mönster i ett material och ljusets våglängd har länge satt en lägre gräns för hur små detaljer man kunnat rita på detta sätt (typiskt 100 nanometer). Fysikernas material har dessutom varit homo-

SMÅ ELLER STORA RISKER? Nanopartiklar finns redan i många olika produkter – allt från elektronik, ytbehandlade stekpannor och kläder till krämer och smink. Användningen väntas öka, men ännu är dock kunskapen om hur människa och miljö påverkas bristfällig. Bland annat är det osäkert om existerande standardiserade metoder för att bedöma effekter och spridning klarar av att undersöka hälso- och miljöfarlighet hos nanomaterial, eller om nya och/eller modifierade metoder måste tas fram. Man vet att partiklar som är 50–100 nanometer snabbt tas upp av celler. Förutom fysikaliska och kemiska parametrar som smältpunkt, kokpunkt, ångtryck och vattenlöslighet kan bland annat partikelstorlek, form och magnetiska egenskaper förväntas vara viktiga för nanomaterial. Både inom EU och OECD pågår arbete och i Sverige bevakar Kemikalieinspektionen utvecklingen inom området.

NANOTEKNIK MED KOL I OLIKA FORMER

Kol är ett ämne som förekommer i flera olika former varav diamant och grafit är speciellt välkända då de återfinns i smycken respektive blyertspennor. Många nanoforskare arbetar också med kol, men i andra former. Anledningen är att ämnet kan få nya egenskaper när det manipuleras på nanonivå. Genom att rulla ihop enskilda grafitlager går det att forma långa nanometertunna rör av kol som till exempel leder ström. Kolnanorör kan bli nya komponenter i framtidens elektronik. De är dessutom extremt starka, trots att de är 100 000 gånger tunnare än ett hårstrå. Grafen är en annan form av kol, uppbyggt på samma sätt som grafiten men endast ett atomlager tjockt. Dess upptäckt belönades med 2010 års Nobelpris i fysik. Grafen är ett av de tunnaste och samtidigt starkaste material man hittills framställt. Det leder elektricitet lika bra som koppar och värme bättre än de flesta andra kända material. Grafenets unika egenskaper gör det särskilt intressant för tillämpningar inom elektroniken, till exempel som material i transistorer. Materialets lätthet och styrka – ett stycke grafen som väger lika mycket som morrhåret på en katt kan bära hela katten – kan komma att revolutionera bil- och flygplansindustrin.



Kolnanorör

gena och kristallina – det vill säga periodiska strukturer där inga detaljer i funktion kunnat varieras. Kemin har emellertid kommit fysiken till mötes genom en bottom-up-princip, där de minsta beståndsdelarna, atomerna sammanförda till molekyler, kan byggas samman till supramolekylära strukturer (se sidan 55) av samma dimensioner som de strukturer som fysikernas tekniker kunnat skapa. Dessutom kan heterogena (icke periodiska) strukturer med funktionella variationer skapas genom att molekylernas egenskaper kan modifieras inom vida gränser.

Mekaniska egenskaper

Det är svårt att korrekt förutse ett visst materials mekaniska egenskaper. Det man i praktiken kan göra med material som man framställt är att testa dem och mäta deras hållfasthet och hårdhet, och det är intressant att notera att nanomaterial ofta har bättre hållfasthetsegenskaper jämfört med motsvarande material som baserats på större korn. Detta hänger delvis samman med en högre homogenitet hos nanopulverbaserade material – nanokornen är väldigt lika varandra – men också med att partiklarna fogas samman bättre eftersom de får bättre kontakt med varandra. Man får helt enkelt färre defekter i ett material som tillverkats av ett nanopulver, och därmed ökar dess styrka.

Optiska egenskaper

En såpbubbla reflekterar ljus och skimrar i regnbågens alla färger. Ljuset är en blandning (interferens) mellan reflekterat ljus från den tunna såpbubblehinnans yttre och inre ytor. Färgen på det reflekterade ljus som vi ser beror på hinnans tjocklek, och varierar dessutom med tiden: under såpbubblans korta liv flödar material från den övre till den undre delen, och såphinnan på bubblans topp blir allt tunnare. Strax innan bubblan brister blir den

VISSTE DU ATT... verkstadsföretaget Sandvik har utvecklat ett superstarkt stål som innehåller nanometerstora kristaller. De hindrar sprickor från att sprida sig i stålet och gör det starkare. I dag används stålet bland annat i supertunna nålar inom ögonkirurgi samt i rakapparater och sportartiklar som behöver vara lätta och starka.

SUPRAMOLEKYLER Molekyler är uppbyggda av atomer som är fästade vid varandra genom starka kemiska bindningar, ungefär som bokstäver binds ihop till ord. Molekyler kan i sin tur associeras till varandra via svagare bindningar och bilda supramolekyler, på samma sätt som orden kan bilda meningar.



övre delen transparent. Den är då så tunn att den inte längre reflekterar synligt ljus.

Detta fenomen utnyttjas vid anti-reflexbehandling då en yta beläggs med ett mycket tunt skikt av ett material med annorlunda optiska egenskaper. Samma fenomen gör att små partiklar får karaktäristiska interferensfärger vilka bestäms av partikelstorleken. En blandning där alla partiklar har ungefär samma storlek kommer att få en stark, enhetlig färg. Men om partiklarna är mindre än våglängden för synligt ljus blir de transparenta, i princip osynliga, och detta gäller för nanokristallina pulver. Om ett sådant pulver bakas samman till en skiva blir denna skiva transparent som ett glas trots att den är kristallin, och det väsentliga för denna egenskap är just att kristallerna är så små att de inte kan interagera med synligt ljus.

Elektroniska egenskaper

En atom består av en positivt laddad kärna som omges av ett moln av negativt laddade elektroner. I en atom rör sig alla elektroner i väldefinierade banor, så kallade orbitaler, med väldefinierade energinivåer. I en molekyl, i vilken flera atomer binder till varandra med kemiska bindningar, har atomernas orbitaler kombinerats till lika många så kallade molekyl-orbitaler. I ett fast material kommer orbitalernas energinivåer att komma så nära varandra att de i praktiken bildar kontinuerliga band av tillåtna energinivåer. Ett fast materials egenskaper som isolator, som halvledare eller som ledare bestäms av hur dessa band av energinivåer är fyllda av elektroner och vilka energier de har.

Atomerna på ytan har andra egenskaper än atomer längre in i materialet, och eftersom ytatomerna utgör en signifikant andel av alla atomerna i nanomaterial påverkar dessa materialets elektroniska egenskaper. Detta innebär att ett material som normalt är en isolator kan bli en halvledare som nanopulver. Om denna egenskap kombineras med de optiska egenskaperna som gör att nanomaterial kan bli transparenta, har vi möjligheten att framställa en transparent halvledare, ett material som är optimalt för tillverkning av solceller. Den typ av nya material som utvecklats av materialkemister kan bli avgörande för våra möjligheter att effektivt ta till vara på och omvandla solljus till elektricitet.

Magnetiska egenskaper

Elektroner i en elektrisk ström är inte bara negativt laddade, utan har också en kvantmekanisk egenskap som kallas för spinn. Man kan se det som att elektronerna roterar kring sin egen axel. Egenskapen är kopplad till magnetism. Spinnen kan ha två riktningar. För varje energinivå (orbital, se ovan) i en atom finns det plats för två elektroner med motsatta

spinn. Om bara en av de två elektronplatserna är fylld med en elektron dominerar alltså det ena spinnet och materialet som atomerna bildar blir vad man kallar paramagnetiskt, vilket innebär att det lilla magnetiska momentet den oparade elektronen ger upphov till linjeras parallellt med ett omgivande magnetiskt fält. Ett paramagnetiskt material attraheras därför av ett yttre magnetfält.

I vissa material linjeras det magnetiska momentet spontant. Materialet blir permanent magnetiskt, det vi i dagligt tal kallar en magnet. Permanentmagneter har många användningsområden, till exempel för magnetisk informationslagring i hårddiskar.

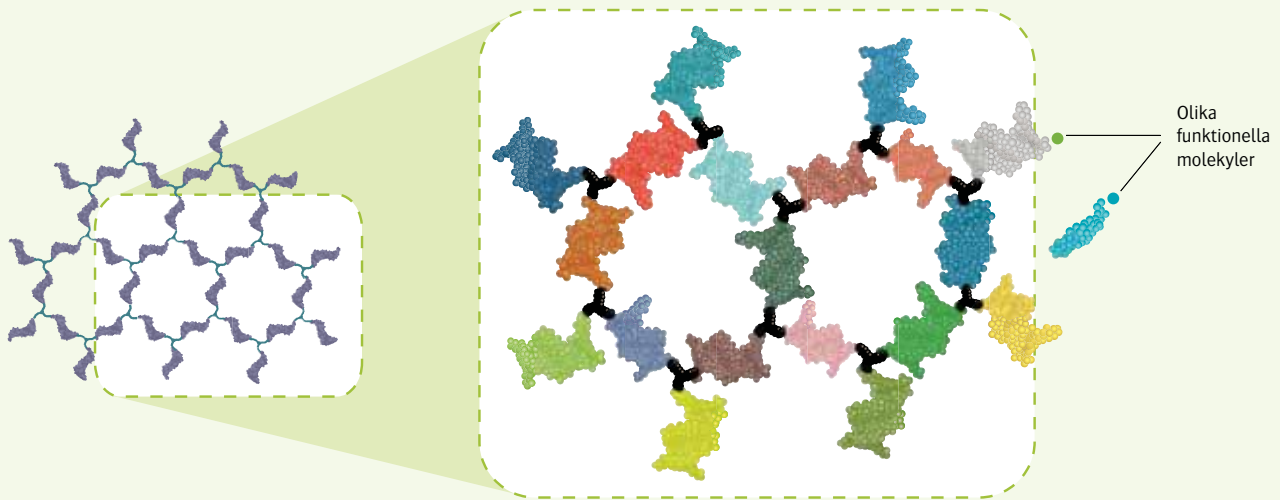
Nanomaterial kan pendla mellan att vara paramagnetiska och permanent magnetiska, något som kan styras och användas i olika tillämpningar. Ett exempel är som kontrastmedel i undersökningar med magnetkamera inom sjukvården.

Hur ser framtidens elektronik ut?

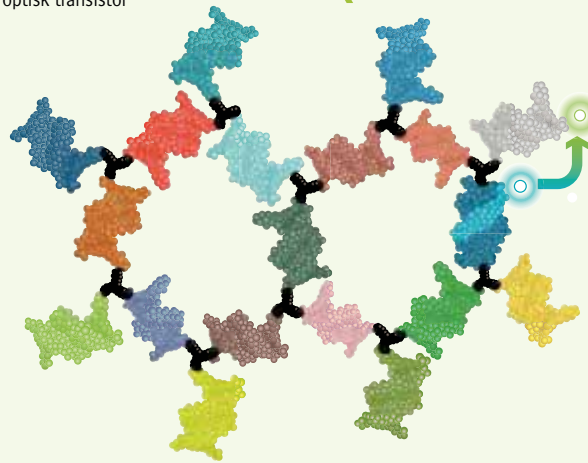
En dator utför räkneoperationer med hjälp av transistorer, som är små komponenter som fungerar som mycket snabba strömbrytare. Datorn räknar genom att slå på och av transistorerna, vilket innebär att de får värdet ett eller noll. Ju fler transistorer en dator består av, desto snabbare blir den.

För att få plats med allt fler transistorer har datortillverkarna arbetat med att krympa dem. Jämfört med de första transistorerna från 1950-talet har dagens komponenter, som är cirka 50 nanometer stora, krympt ungefär en miljon gånger.

Nanotekniken har försett oss med verktyg att manipulera och studera enstaka molekyler, och med hjälp av organisk och oorganisk syntetisk kemi går det att producera molekyler med förutsägbara elektriska egenskaper. Detta tillsammans med styrkan hos kvantkemiska be-



En sur miljö gör att DNA-strängen fäster, en basisk miljö att den lossnar igen. På så sätt går det att reglera om signalen ska gå fram eller inte – en slags kemisk och optisk transistor



När den inbundna molekylen blir belyst skickar den över energi och aktiverar molekylen i DNA-strukturen

DNA-molekyler används som supramolekylära byggstenar av bland annat svenska forskare för att bygga strukturer i nanoskala med olika funktioner. Ett rutnät, ungefär som ett hönsnät, byggs upp av sexhörningar där varje sida består av en unik DNA-

sekvens. Det ger en nanokarta där det går att binda in enkelsträngar av DNA till specifika positioner. Med funktionella grupper på DNA-strängarna och olika metoder för att reglera när de binder till varandra kan strukturen ges olika funktioner.

räkningar gör att vi i dag kan designa molekyler som fungerar som elektriska ledare, transistorer, strömbrytare och minneselement.

Molekylär elektronik är ett relativt ungt forskningsområde som de senaste tio åren genomgått en snabb utveckling. Det är också möjligt att ta fram molekyler där elektroniska förändringar kan avläsas optiskt. Denna forskningsgren kan få betydelse för tillverkning av en helt ny typ av transistorer och integrerade kretsar men också för framställning av olika optiska modulater för bredbandstillämpning och för molekylära sensorer för diagnostik med mera.

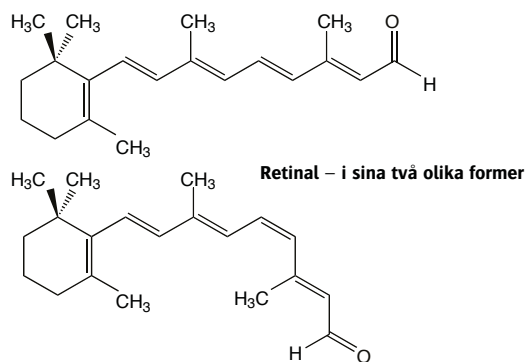
Mindre och energisnålare komponenter

Vad är då fördelarna med molekylär elektronik jämfört med dagens elektronik som är baserad på bulkegenskaper hos oorganiska halvledare och metaller? I stort sett alla elektroniska processer i naturen, såsom fotosyntesen i växter och synprocessen i ögat, involverar elektronöverföring inom molekylära strukturer och dessa kan tjäna som inspirationskällor. De flesta molekyler har en storlek på mindre än 10 nanometer, vilket möjliggör överföringar av enstaka elektroner i kvantiserade processer, i motsats till elektronströmmarna i en kopparledning. Detta medför såväl kostnadsfördelar som högre effektivitet och lägre energiförbrukning.

Det går också att styra elektroniska egenskaper hos vissa föreningar. Många molekyler har flera stabila strukturer med olika optiska och elektriska egenskaper och dessa kan fås att övergå i varandra. Det är till exempel vad som sker i vårt synsinne, hos molekylén retinal i proteinet rodopsin i vår näthinna.

En orsak till det stora intresset för molekylär elektronik är behovet av allt mindre komponenter som kan packas allt tätare på kretskorten. Detta brukar illustreras med Moores lag, uppkallad efter en av Intels grun-

SYNEN – ETT KEMISKT SINNE Många molekyler har flera stabila strukturer eller isomerer. Geometriska isomerer har ofta olika optiska och elektriska egenskaper. Molekylén retinal till exempel, som sitter bunden till vår näthinna, växlar mellan två stabila former under inverkan av synligt ljus och kan därigenom inducera en elektrokemisk respons vilket är grunden för seendet. Den organiska syntesmetodikerna är i dag mycket raffinerad och vi kan tillverka molekyler med förutbestämda elektroniska, optiska och geometriska egenskaper. Detta möjliggör skapandet av skräddarsydda system med unika egenskaper.



dare Gordon E. Moore, som säger att antalet transistorer som kan placeras i en integrerad krets fördubblas vartannat år. Denna utveckling har pågått i över 50 år och lett till dagens enorma utbud av billiga elektroniska prylar. På grund av både tekniska, ekonomiska och fysikaliska begränsningar ser denna trend ut att brytas. Genom att bygga elektroniken med molekyler "bottom-up" i stället för som tidigare "top-down" kan i princip Moores lag dock komma att gälla ytterligare en tid eftersom komponenttätheten kan ökas till den ultimata fysikaliska gränsen som utgörs av molekyler och atomer.

Specifika interaktioner mellan molekyler kan dessutom leda till självorganisation – att molekylerna placerar sig i regelbundna mönster. Egenskaperna hos komponenter uppbyggda från enstaka molekyler kan då en-

kelt varieras genom att modifiera strukturen hos de molekylära byggstenarna.

Molekylära minnen

Molekyler kan lagra information genom att ändra form eller genom att ändra sina elektriska, optiska eller magnetiska egenskaper. I princip fungerar dagens datorminnen redan på detta sätt fast informationen lagras i makroskopiska strukturer snarare än i enstaka molekyler.

Molekylära permanenta minnen, sådana som består även efter det att strömmen brutits, där varje bit representeras av en molekyl, kan få en enormt hög lagringskapacitet. Molekylära minnen är också den molekyl-elektroniska uppfinning som ligger närmast kommersiell lansering.

Science eller science fiction?

Föreställ dig molekylära kugghjul som roterar mot varandra när de blir stimulerade av enstaka elektroner. Eller molekyler uppradade som dominobrickor, där en liten störning i ena ändan leder till en molekylmekanisk kaskad som rör sig genom hela strukturen på ett förutbestämt sätt. Tänk dig en ledare där förekomsten av en enstaka atom bestämmer den elektriska ledningsförmågan, eller en biomolekylär igenkänningsprocess som används för att öppna upp en ny väg för att transportera elektroner.

Detta är några molekyl-elektroniska processer som nyligen har demonstrerats experimentellt. Forskare kan framställa och mäta på molekyl-elektroniska komponenter i laboratoriet, men det är ännu en lång väg att vandra innan fungerande elektronik kan produceras. Ett överhängande problem är hur vi, i den makroskopiska världen, ska kommunicera med molekyler som har en storlek av enstaka nanometrar.

Kanske kommer molekylär elektronik aldrig att ersätta dagens mikroelektronik på grund av svårigheter med uppskalning och termisk

stabilitet. Men forskningen är inte bortkastad. I stället kanske helt andra områden drar nytta av all kunskap om molekylers förmåga att leda ström och överföra information.

Ett sådant område handlar om hur vi ska åstadkomma elektriska kontakter mellan bulk-elektronik och biologiskt material – mellan en dator och nervtrådar för att styra proteser eller kanske till och med mellan en dator och en hjärna... artificiell intelligens på riktigt! Tanken svindlar! Inom detta nanoteknologiska gränsland mellan biologi och elektronik kommer kunskaper om hur elektriska signaler transporteras på molekylär skala och hur molekyler får elektrisk kontakt med metaller att vara helt avgörande i framtiden.

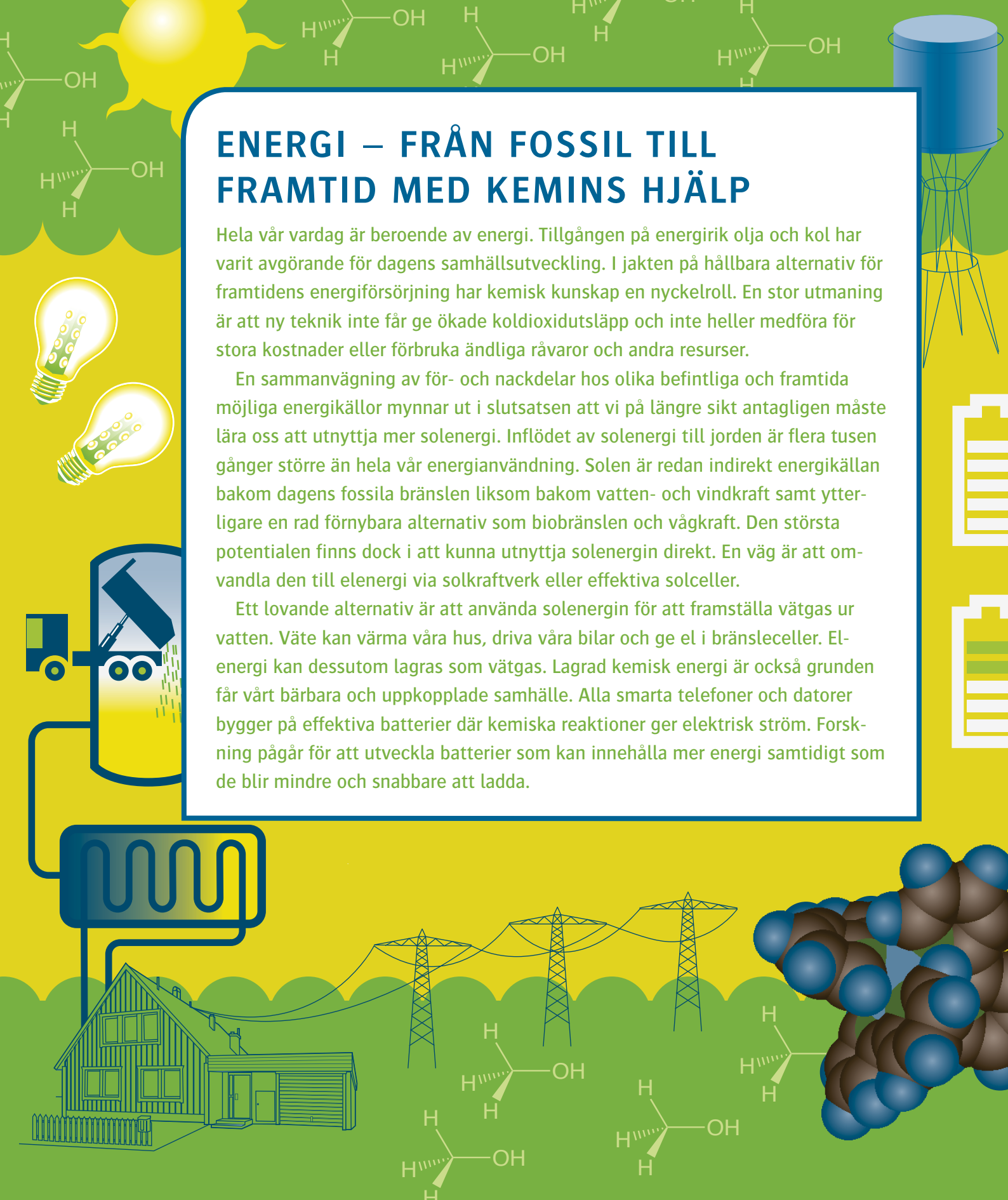
- Framtidens material kommer i högre utsträckning att baseras på förnybara råvaror.
- Plaster och andra polymera material kan designas så att de får önskade egenskaper, som nedbrytbarhet, transparens, böjlighet och elektrisk ledningsförmåga.
- Tack vare kemiska processer kan skogsråvaran förädlas till många olika produkter och alla delar av trädet utnyttjas.
- Kompositer, naturliga såväl som syntetiska, är mycket användbara i olika tillämpningar eftersom de kombinerar önskvärda egenskaper hos olika material.
- Med hjälp av kemistens byggstenar, atomerna, kommer komponenter med elektroniska, magnetiska och optiska egenskaper att kunna både förminska och förbättras.
- Större byggstenar, så kallade supramolekyler, kan användas för att tillverka bland annat chip för molekylär elektronik och nanosensorer för biomedicinsk analys.

ENERGI – FRÅN FOSSIL TILL FRAMTID MED KEMINS HJÄLP

Hela vår vardag är beroende av energi. Tillgången på energirik olja och kol har varit avgörande för dagens samhällsutveckling. I jakten på hållbara alternativ för framtidens energiförsörjning har kemisk kunskap en nyckelroll. En stor utmaning är att ny teknik inte får ge ökade koldioxidutsläpp och inte heller medföra för stora kostnader eller förbruka ändliga råvaror och andra resurser.

En sammanvägning av för- och nackdelar hos olika befintliga och framtida möjliga energikällor mynnar ut i slutsatsen att vi på längre sikt antagligen måste lära oss att utnyttja mer solenergi. Inflödet av solenergi till jorden är flera tusen gånger större än hela vår energianvändning. Solen är redan indirekt energikällan bakom dagens fossila bränslen liksom bakom vatten- och vindkraft samt ytterligare en rad förnybara alternativ som biobränslen och vågkraft. Den största potentialen finns dock i att kunna utnyttja solenergin direkt. En väg är att omvandla den till elenergi via solkraftverk eller effektiva solceller.

Ett lovande alternativ är att använda solenergin för att framställa vätgas ur vatten. Väte kan värma våra hus, driva våra bilar och ge el i bränsleceller. Elenergi kan dessutom lagras som vätgas. Lagrad kemisk energi är också grunden för vårt bärbara och uppkopplade samhälle. Alla smarta telefoner och datorer bygger på effektiva batterier där kemiska reaktioner ger elektrisk ström. Forskning pågår för att utveckla batterier som kan innehålla mer energi samtidigt som de blir mindre och snabbare att ladda.



DE BRÄNSLEN VI utnyttjar för att producera el-energi och värme är exempel på lagrad kemisk energi. Solljus har använts av växter för att bygga upp olika energirika ämnen som finns lagrade såväl i fossila bränslen som i ved eller mera förädlade biobränslen. Energin frigörs då de kemiska bindningarna mellan atomerna i bränslet ersätts med starkare bindningar i förbränningsprodukterna, framför allt mellan syreatomer och väte (vatten) och mellan syreatomer och kolatomer (koldioxid). Den frigjorda värmeenergin vid förbränning är helt enkelt energiskillnaden mellan de gamla och de nya kemiska bindningarna.

Vi människor är beroende av att få i oss energi genom olika ämnen i vår föda. Maten som energikälla för oss kan jämföras med bränslen för fordon eller stearin i ett ljus – kemiskt är det faktiskt inga stora skillnader. Vid förbränning av sådana energirika föreningar frigörs energi i första hand i form av värme, men i kroppen kan vi också tillgodogöra oss energin för att uträtta mekaniskt arbete eller för att driva olika biokemiska processer.

I det här kapitlet presenteras hur kemin har en roll i dagens energikällor och hur kemisk forskning är avgörande för morgondagens lösningar inom energiområdet och för våra möjligheter att möta ett ökande energi-behov på ett hållbart sätt.

Kemi en grund för morgondagens energi

Världen står inför att radikalt ställa om energiförsörjningen som i dag till 80 procent är beroende av fossila bränslen. Dessutom beräknas behovet av energi öka och till följd av det även energitillförseln, som beräknas öka med minst 20 procent till 2050. I många fall är det ett tecken på att länder utvecklas och något som i grunden är bra. Den stora utmaningen på energiområdet är att ersätta fos-

silbränslen med förnybara och mer miljöneutrala energiformer. Förutsättningarna för att lyckas med det varierar mellan olika delar av världen och vilket tidsperspektiv vi har.

Frågor som hur de fossila bränslena ska fassas ut och hur koldioxid och andra oönskade ”biprodukter” av förbränning ska hanteras är i slutändan huvudsakligen kemiska problem. Ett exempel är hur den koldioxid som i dag produceras ska hanteras för att inte bidra till växthuseffekten.

I slutändan är det dock politiska frågeställningar, för även om det finns lösningar på problemen kan kostnaderna vara betydande. Procentuellt marginella extra kostnader i energisystemen kan i praktiken komma att betraktas som oacceptabla. Så länge en akut energikris inte står för dörren är därför drivkraften att ta sig an och lösa problemen inte så stark i många länder.

OECD-organet International Energy Agency uppskattar att det krävs investeringar på 200 000 miljarder kronor till 2030 för energiförsörjning och minskning av växthusgaser. Kemisk förståelse av grundläggande delar av olika energiformer och deras miljökonsekvenser är avgörande för att man ska kunna göra välavvägda val i nya satsningar.

Energieffektivisering – att få ut mer ur mindre

För att klara ekvationen att få ut mer energi utan att tära på jordens resurser krävs olika former av effektivisering. Att använda både elenergi och fossila bränslen effektivare är ett mål för de flesta länder. Inom EU är målet att spara 20 procent energi till 2020. Förutom att minska koldioxidutsläppen skulle det spara 1 000 miljarder kronor.

I områden med kallt klimat som Sverige kan energi för uppvärmning användas effekti-

inkommande våg drar en wire kopplad i en elinducerande enhet förankrad på havsbotten. I länder med kraftigt tidvatten är vattenturbiner i inloppet till fjordar ett annat alternativ vilket genom förutsägbarheten hos tidvattnet är betydligt säkrare än vågkraften som ju förutsätter vind. För båda formerna av havsvattenkraft har korrosion anförts som ett allvarligt problem när det gäller hållbarheten.

Vattenkraft

En viktig förnybar energikälla är vattenkraften, som svarar för nära hälften av den svenska elproduktionen. Det finns cirka 1 800 vattenkraftverk i landet och av dem definieras drygt 200 som större, med en effekt på 10 MW eller mer. I Sverige produceras 50–75 TWh el från vattenkraft, beroende på nederbördsförhållanden. Totalt i världen produceras 2 800 TWh el från vattenkraft. Den ekonomiska potentialen för vattenkraft globalt uppskattas dock till tre gånger mer, drygt 9 000 TWh.

Den traditionella vattenkraften, som med stora dammar utnyttjar vattnets fallhöjd för att med en turbindriven generator generera el, är en ren och uthållig energikälla. Damarna medför dock stora ingrepp och förändringar i de vattendrag som exploateras och i omgivande natur, men fördelarna kan ändå ses överväga.

De svenska vattendammarna kan tillsammans lagra 34 TWh. En stor fördel är att vattenkraftverk snabbt kan regleras efter behov. Som förklarats tidigare har vattenkraften därmed en viktig roll i det svenska elsystemet, genom att den snabbt kan kopplas in när andra kraftkällor faller bort. Vid god tillgång på el går det dessutom i princip att pumpa upp vatten till dammarna, för att på så sätt fylla på vattenmagasinen och lagra mer energi.

Kärnkraft

Kärnkraften är omdebatterad som energiform. Utan dagens kärnkraft skulle dock Sveriges koldioxidutsläpp vara mycket högre än i dag. I ett övergångsskede kommer därför befintlig kärnkraftteknik att behövas som stöd för att de allvarliga miljöeffekterna av användning av fossila bränslen ska kunna begränsas. Sveriges reaktorer är byggda mellan 1972 och 1985. Liksom många länder med kärnkraft står Sverige inför valet att ersätta dagens reaktorer med nya. Utmaningen är i så fall att se till att nästa generation kärnkraftsteknologi kan möta högt ställda säkerhets- och miljökrav.

Även om den energialstrande processen i kärnkraft inte är kemisk finns en rad kemiska problem förknippade med driften av ett kärnkraftverk. Hit hör bränsleupparbetning, anrikning av bränslet samt rening och slutförvar av utbränt bränsle. De olika kemiska processerna för att högkoncentrera radioaktivt avfall inför slutförvar är en av de stora kemiska utmaningarna. Material i och nära reaktortanken liksom i slutförvaret är också utsatta för strålningskemiska processer. Hur olika metaller och polymerer påverkas, till exempel med avseende på materialutmattning och risker med nedsatt hållfasthet, är viktigt att utreda.

I nästa generation kärnkraftsverk planeras för att återanvända kärnavfall genom bearbetning och separation. En lovande metod baseras på smältelektrolys. För att Sverige ska kunna följa och delta i utvecklingen av den nya generationens kärnkraft behöver kompetensen i Sverige stärkas speciellt inom kärnkemi och oorganisk kemi.

Dagens kärnkraft är baserad på fission, där tunga atomkärnor slås sönder så att energi frigörs. Internationellt sker omfattande forskning även på fusionsenergi, som bygger på att väteatomer slås samman till

helium för att frigöra energi. Tekniken försöker alltså härma kärnreaktionerna som sker i solen. En forskningsreaktor kallad ITER projekteras för närvarande i Frankrike, och det finns förhoppningar om en första kommersiell fusionsreaktor i drift år 2050. Liksom inom den traditionella kärnkraften är de kemirelaterade utmaningarna bland annat att utveckla kunskap om vilka material som tål de extrema förhållandena i reaktorer.

Bioenergi och biobränslen

Att använda biobränslen är i indirekt form att använda solenergi som lagrats som kemiska föreningar i växter. Biomassa, som består av de brännbara material som bildats genom fotosyntes, bidrar till cirka tio procent av jordens primära energi. Merparten av denna används för matberedning och uppvärmning i utvecklingsländer. I ett längre perspektiv kommer livsmedelsproduktion att behöva prioriteras när det gäller grödor, och energi direkt från solkraftverk behöva omvandlas till elenergi eller koldioxidneutrala bränslen.

Den fossila olja som utvinns i dag används dels som bränsle och drivmedel, dels som utgångspunkt för syntes av olika plastmaterial och vissa dyrbara kemikalier. I båda dessa avseenden skulle det som kallas biobränslen kunna ersätta den fossila oljan – biobränslen är kolväten, precis som fossil olja. Storskalig produktion av biobränslen kräver dock stora markarealer, vilka bättre behövs för odling av jordbruksprodukter. Ökande användning av biobränslen, i synnerhet GROT (grenar och toppar) liksom långsamt växande träd, tillför också stora mängder koldioxid och bidrar således till den globala uppvärmningen.

En utmaning är hur värme eller elenergi ska kunna produceras ur bioenergi på ett ekonomiskt och miljövänligt sätt – inte minst

genom att undvika betydande förluster på grund av transporter. Två andra svåra utmaningar gäller hur de växthusgaser (koldioxid och metan) som genereras som biprodukter ska minimeras samt hur man ska undvika konkurrensen med produktion av livsmedel.

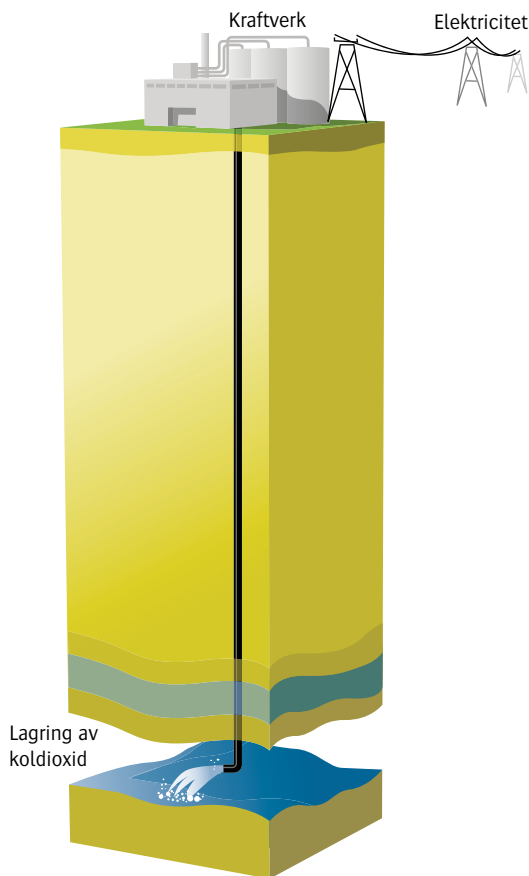
Försök med att tillsätta vegetabilisk olja (rapsolja) till dieselbränsle pågår både i Sverige och i andra länder. Det har dock rapporterats ge funktionsproblem hos dieselmotorer i bilar och i småbåtar i form av igensatta bränslefilter och bakterietillväxt i bränsletanken under långtidsförvaring.

Under benämningen biogas utvinns metan genom syrefri fermentering av boskaps gödsel, växtmaterial och annat nedbrytbart material. Koldioxid bildas dessvärre som biprodukt i betydande mängd. En annan form av biogas är trägas som utvinns genom torrdestillation av trä eller annan biomassa och som huvudsakligen består av kväve, väte och kolmonoxid. Biogas har klassificerats som förnybar energikälla och därför åtnjutit energistöd i vissa delar av världen.

Kan vi klara oss utan fossila bränslen?

Att vi bygger så mycket av vår välfärd på olja, kol och naturgas leder till utsläpp av stora mängder växthusgaser. I dag står olja för 35 procent av världens energianvändning, följt av gas och kol som står för 25 respektive 21 procent.

Ett steg mot att minska vårt fossilberoende är mycket effektivare användning av dessa bränslen och deras biprodukter, vid sidan av nya teknologier som minimerar miljöpåverkan. Flera prognoser är dessvärre pessimistiska, och pekar på att utan signifikanta teknologiska genombrott kommer vi att 2050 visserligen ha kunnat öka andelen alternativa energikällor i den globala tillförseln, men



En möjlig lösning för att begränsa halterna i atmosfären av växthusgasen koldioxid är att fånga in och lagra den i berggrunden, till exempel i hålrum som tömts på olja och naturgas eller i porösa bergarter. Koldioxiden från kraftverk skulle kunna pumpas ned till ungefär tusen meters djup, där det höga trycket får gasen att övergå till en vätska. Kemisk kunskap är viktig för att möta utmaningarna att dels få ned kostnaderna och energiförbrukningen för tekniken, dels kunna garantera säkerheten för lagringen så att koldioxiden inte läcker ut.

pen, liksom att minska utsläppen av oförbrända kolväten och kolmonoxid.

Andra kemitekniska problem berör själva utvinningen av fossila bränslen. I takt med att dagens lättillgängliga reserver töms måste råolja utvinnas i allt mer utmanande miljöer, till exempel genom att borra i havsbotten på stora djup. Det innebär nya svårigheter när det gäller att styra och kontrollera processerna. Större krav ställs också på att kunna leverera oljan till ytan inklusive teknik för att upptäcka och täta läckor, inte minst när det gäller arbete på mycket stora havsdjup.

Med ökande risker finns också anledning att befara att det oftare inträffar någon mer omfattande olycka med förödande oljeläckage som följd. För att kunna hantera oljeläckage behövs detaljerad kunskap om hur olika kemikalier bäst kan utnyttjas för att binda oljan och minimera skadorna på miljön.

För att kunna förbereda sig inför utvinning i svåra miljöer och driva ut den olja som finns kvar i sinande oljedepåer behövs dessutom ingående förståelse för det komplexa fysiska och kemiska samspelet mellan oljan, det vattnet och de kemikalier som används för att få upp oljan samt de olika geologiska strukturerna på fyndplatserna.

Är deponering av koldioxid en lösning?

Vi kommer alltså antagligen att tvingas fortsätta att använda fossila bränslen under

inte till mer än högst 50 procent. Vi kommer alltså att länge fortsätta att vara hänvisade till att använda fossila bränslen.

Inte bara koldioxid utan även andra gaser som bildas vid förbränning av olja utgör allvarliga miljöhot, främst svaveldioxid och kväveoxider som bidrar till både försurning och övergödning av mark och vatten. Som luftföroreningar leder de dessutom till hälsoproblem för stora delar av världens befolkning. En utmaning inom raffinaderiindustrin är därmed att försöka minska eller eliminera svavelinnehållet i oljan. För motortillverkarna är uppgiften att utveckla bättre motorer och katalysatorer för att minska kväveoxidutsläp-

lång tid framöver. För att minska miljöeffekterna av detta finns förslag om att avskilja och slutförvara den koldioxid som bildas vid förbränningen i geologiskt stabila lager eller komprimerad djupt under havsbotten. Koldioxid skulle också kunna fångas in från atmosfären.

Processen kallas Carbon Capture and Storage (CCS) och är förhållandevis energi-krävande, vilket alltså gör att ännu mer bränsle går åt och ännu mer koldioxid bildas. Det har uppskattats att mellan 20–50 procent extra energi behövs för att samla in koldioxiden, komprimera den och förflytta den till depåer på tillräckligt djup.

För att begränsa ökningen av växthusgaser kan dock CCS behöva tas till, vilket kräver utveckling av teknik för att avskilja koldioxid – antingen direkt vid förbränningen eller från atmosfären. Avskiljningen sker antingen på kemisk väg där koldioxiden fångas upp och binds i basiska lösningar eller genom att kyla och komprimera luft till en vätska och separera ut koldioxiden. Här finns utrymme för utveckling av nya energiekonomiska processer, baserade på lämpliga återanvändbara material som vid en lägre temperatur selektivt tar upp koldioxid och vid en högre temperatur lämnar den ifrån sig.

Fördjupad förståelse behövs också för förutsättningarna för säker långvarig slutförvaring av koldioxiden, inklusive de processer som kan ske med gasen i kombination med olika geologiska strukturer under varierande temperaturer och tryck. Eftersom koldioxid är en tung, kvävande gas skulle ett plötsligt läckage från en depå under marken i befolkade trakter kunna leda till katastrofala följder.

Hur kan transportererna bli fossilfria?

Utifrån dagens trender ser den globala vägtrafiken ut att öka så mycket att koldioxid-

KAN SVERIGE BLI FOSSILFRITT? Sverige har stor potential att ersätta dagens användning av fossila bränslen, framför allt tack vare riklig tillgång på fossilfri el. Till år 2050 beräknar Kungl. Vetenskapsakademiens Energiutskott att tillförseln av energi kan bestå av mindre än tio procent fossil energi. Sverige går dessutom mot strömmen sett till omvärldens ökande behov av energi. Den svenska energianvändningen beräknas vara möjlig att krympa med 16 procent till 2050. Minskningen beror bland annat på bättre isolerade hus, återvinning av frånluft och fler värmepumpar.



utsläppen kommer att dubbleras till 2050. Trots olika försök till energisparåtgärder fortsätter användningen av olja inom transportsektorn att öka. Denna utveckling måste vändas. Åtgärder för att lyckas med det kan till exempel vara att få fordonen att förbruka mindre bränsle, att utveckla nya transportsystem och att få mer transporter att ske med järnväg.

Beräkningar visar att om vi i Sverige inför sådan teknologi som existerar redan i dag skulle energiåtgången för transporter i Sverige kunna minska med en tredjedel till år 2050 – i denna minskning är dessutom en allmän ökning av transportererna med tio procent inräknad.

En särskild utmaning är att utveckla alternativ till oljan för sjötransport och flyg över stora avstånd. Det finns en rad energialternativ för sjötransport, men motsvarande möjligheter för drift av flygplan är mycket begränsade. Det gör att flyget även fortsättningsvis ser ut att behöva flytande kemiska bränslen. Alternativen, inklusive elbatterier, är realistiska på grund av alltför låg kapacitet sett till energi-per-vikt. Vätgas och flytande väte kan ännu inte hanteras på ett praktiskt och betryggande sätt i flygplan. En utmaning är därför i stället att finna alternativa, tillräckligt effektiva flytande drivmedel för att tillfredsställa flygets behov.

Solenergi det mest lovande alternativet

I vår globala energikris har solenergin den klart största potentialen att möta det ökande behovet av energi. Varje timme faller det in mer energi från solen på jordytan än vad hela mänskligheten förbrukar under ett helt år. Som en jämförelse gör vi av med cirka 400 TWh per år i Sverige, medan instrålningen över vårt land är tusen gånger större.

Stora solkraftverk skulle kunna utnyttja tekniken Concentrating Solar Power (CSP). Där överförs solenergin till vattenånga som genererar elenergi i en ångturbin. Tekniken finns framtagen och testad, men det finns en rad kemitekniska och politiska utmaningar i den fortsatta utvecklingen av solkraftverken som måste ligga på soliga latituder.

Ett alternativ till CSP är fotoelektriska solceller, så kallade photo-voltaics (PV). Principen bakom dem uppträcktes redan 1836 och de första effektiva solcellerna framställdes 1932. I dag är de vanligaste kommersiellt tillgängliga PV-cellerna, med en verkningsgrad på 10–20 procent, tillverkade i kristallin kisel. För närvarande är elektrisk energi från PV-celler ungefär fyra gånger dyrare än energi från fossil förbränning. Med större efterfrågan och effektivare tillverkningsmetoder för solceller tillsammans med stigande oljepriser framöver är det ingen avskräckande skillnad, speciellt med tanke på alla fördelar som direkt solenergi har i form av robusthet och minimala miljöproblem.

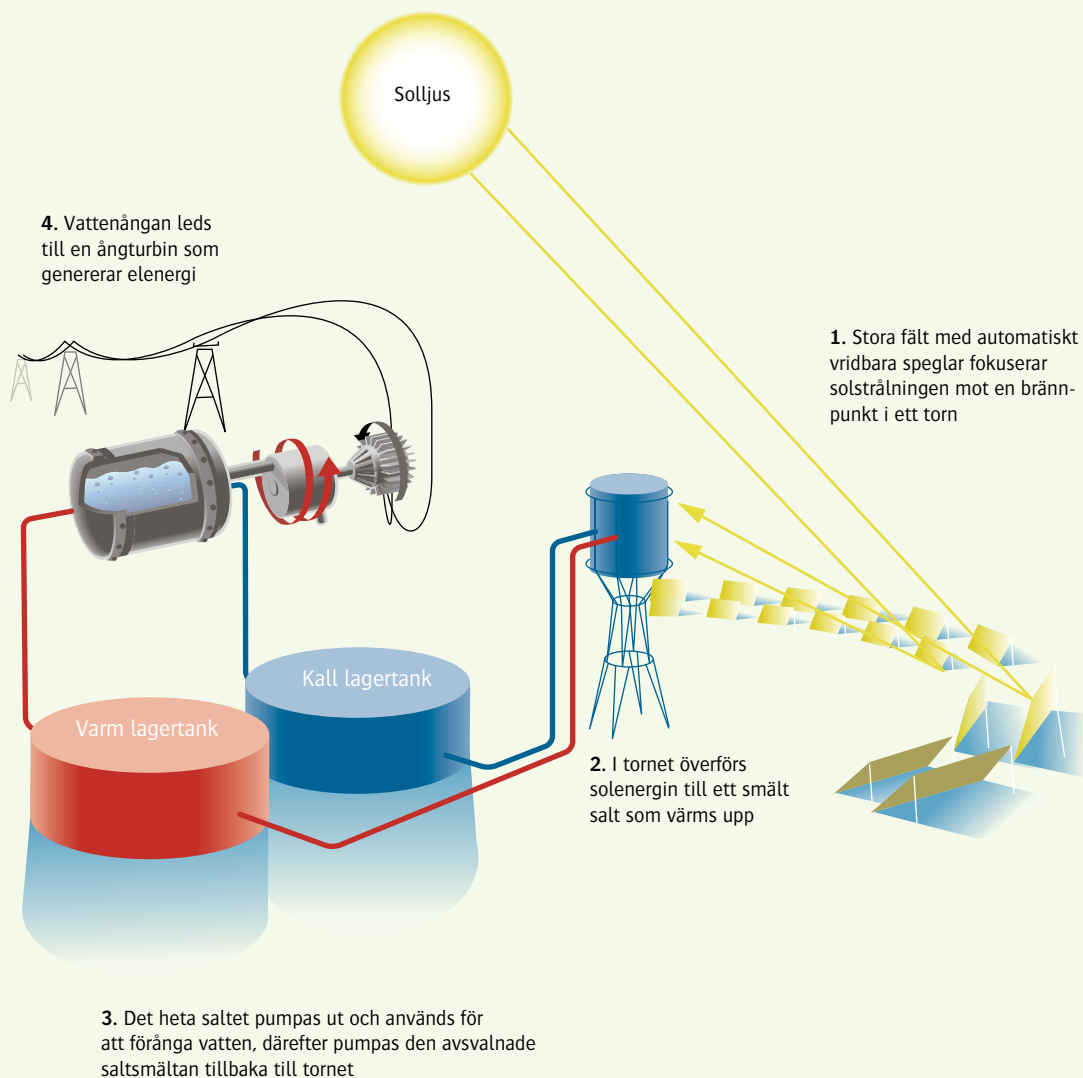
Den industriella produktionen av solceller ökar också snabbt. I till exempel Tyskland räknar man med att 30 000 människor är anställda inom solcellsindustrin. Den globala installerade solcellskapaciteten motsvarar mer än tio kärnkraftverk, men det är alltså fortfarande en mycket liten del i ett globalt energiförsörjningsperspektiv. Mycket åter-

VISSTE DU ATT... det skulle behövas ungefär 70 000 kvadratkilometer solceller för att förse hela världen med el, räknat med en verkningsgrad på 10 procent. Det motsvarar några procent av Saharas yta eller 12 kvadratmeter per person i världen.

står att göra för att få fram billigare solcellsmaterial.

Betydligt billigare än kiselcellerna kan PV-celler som bygger på organiska fotoelektriskt aktiva molekyler bli. Till exempel kan ledande polymerer eller färgämnen bundna till titan- eller zinkoxidkristaller användas i molekylära solceller. Utvecklingen av LED (Light-Emitting Diodes) som ger ljus med nära hundra procent effektivitet har också följts av en utveckling av ”omvända” LED, som generar elström när de blir belysta. Här pågår lovande forskning och flera företag arbetar med koncept för billig produktion av nya material för solceller som utnyttjar omvända LED i polymera material.

I motsats till solkraftverk med CSP-teknik verkar PV-cellerna främst vara lämpade för användning i liten skala och för lokala behov – till exempel på taket till hus i varma trakter som energikälla för luftkonditionering. PV-celler används redan världen runt för belysning, fyrar och elektronik på platser som saknar elnät, samt som kraftkällor i satelliter och rymdteleskop.



Soldrivna kraftverk med tekniken Concentrating Solar Power (CSP) skulle göra det möjligt att storskaligt fånga in solenergi och omvandla den till elektricitet. Intressanta kemitekniska utmaningar ligger i material för att lagra värme och för att överföra värme vid höga temperaturer och förhållandevis kraftiga variationer i instrålning. För att kompensera skillnaden i solinstrålning mellan dag och natt kan en del av elenergin användas för att på dagtid producera väte, som via en bränslecell kan producera el på natten. På så sätt uppnås en jämnare energitillförsel.

Nästa generationer av solceller

För en storskalig solcellsindustri krävs en teknologi med hög verkningsgrad som kan massproducera solceller till låga kostnader. Celler baserade på tunna skikt av kadmiumtellurid och kopparindiumgalliumselenid (CIGS) utgör en andra generations solceller som utmanar traditionella kiselbaserade celler. För nästa generations solceller, då siktet är inställt mot att leverera storskalig el till samma prisnivå som dagens konventionella energikällor, krävs ny teknik. Här kan kemibaserad teknologi visa sig ha unika fördelar jämfört med andra solcellstekniker.

Inom artificiell fotosyntes designas stora konstgjorda molekyler för att spjälka vatten till syrgas och vätgas. En redan etablerad teknologi för molekyllära solceller är så kallade Grätzel-solceller. Många stora företag satsar inom området. I dagsläget finns inga produkter på marknaden men ett flertal demonstrationsanläggningar i Japan, Australien och Kina. Långtidstester ser lovande ut och industrin arbetar med uppskalning och processutveckling. En fördel är att de kan appliceras på flexibla plastmaterial, vilket betyder lätt vikt, upprullningsmöjligheter och formbarhet. Investeringskostnaderna förväntas bli förhållandevis låga och de har stora möjligheter att kunna masstillverkas.

Grätzel-solceller härmar de gröna växternas sätt att omvandla solljus till energi. Ljuset tas upp av ett färgämne som sitter fäst på små titandioxidpartiklar, vilket frisätter en ström av elektroner som vandrar i solcellen och genererar elektricitet. Med en verkningsgrad på elva procent är de det första molekyllära systemet som utmanar de konventionella halvledarbaserade solcellsteknikerna. Hemligheten med funktionen för Grätzel-solcellen är att använda elektroder med så stor yta som möjligt. Genom att göra en tunn film



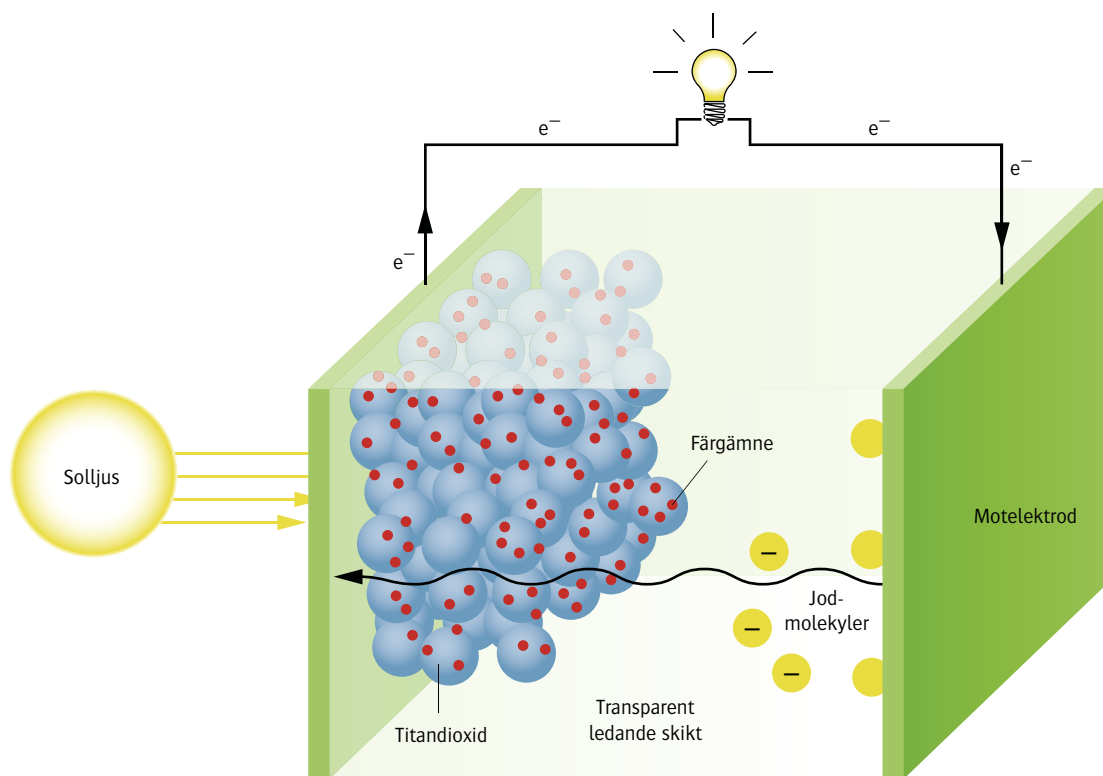
VISSTE DU ATT... ett företag i Wales, G24i, har försett mobiltelefoner med vikbara och lätta molekyllära solceller för uppladdning.

Plastsolceller på en utomhusparkering.

som samtidigt är full av små porer kan ytan som beläggs med färgämne ökas mer än tusen gånger. Därmed fångar solcellen upp mer solljus och får på så sätt högre verkningsgrad.

Sverige ligger långt framme inom forskningen på området, där expertis inom flera kemiska områden krävs – allt från att förstå elektronöverföringen i materialen till att kunna utveckla nya och bättre färgämnen, nanomaterial och elektrolyter.

Minst lika lovande som Grätzel-cellerna vad gäller framställning och hållbarhet är så kallade plastsolceller (se vidare på sidan 48 i kapitlet om material). De bygger liksom växters fotosyntes på att solljuset får elek-



I en Grätzel-solcell fungerar ett transparent ledande skikt på en glas- eller plastskiva som minuspol (anod). På denna finns en film som vanligtvis består av mycket små titandioxidpartiklar belagda med ett färgämne. När solljus träffar färgämnesmolekylerna avger de elektroner. Solcellens positiva motelektrod (katod) består av ett ledande skikt av kol eller platina, och där tar jodmolekyler upp elektroner och lämnar dem i sin tur vidare till färgämnesmolekylerna. Processen upprepas gång på gång och alstrar elektricitet. I och med att titandioxidpartiklarna är mycket små (cirka 20 nanometer i diameter) och dessutom har många porer får filmen en stor yta som kan beläggas med färgämne, vilket höjer verkningsgraden.

troner att röra på sig, men laddningsöverföringen är ungefär hundra gånger snabbare än i de gröna växterna och därmed mycket effektivare. Plastmaterialen är ledande polymerer och laddningsinsamlingen till elektroderna åstadkoms med hjälp av ett nanomaterial. Den största fördelen med den här typen

av celler är att tillverkningen är mycket enkel, vilket i framtiden möjliggör att mycket billiga solceller kan framställas. Tillverkningsmetoden som används i dag baseras på vanliga tryckprocesser, sådana som används för till exempel flerfärgstryck.

Bränsleceller ger effektiv elenergi

En av de kanske mest lovande och renaste energikällorna för framtiden är bränslecellen. En sådan kan förenklat liknas vid ett batteri som inte behöver laddas för att ge el utan i stället fylls på med vätgas. Cellen är till sin konstruktion enkel. I något som liknar ett bilbatteri leds vätgas ned i en porös minuspol och syrgas leds ned i pluspolen. I takt med att elektrisk ström tas ut förbrukas gaserna och den enda biprodukten som bildas är vatten som kan tappas av.

Dagens industriellt tillverkade väte framställs ur metan och vatten, i en process som utvecklar stora mängder koldioxid som biprodukt – hela sex gånger mer än den producerade mängden väte. Alternativa metoder för att tillverka vätgas behövs alltså. Det som står till buds är dels splittring av vatten med hjälp av antingen elektrolys eller värme, dels diverse biotekniska tekniker där enzymer kan producera vätgas. Forskning pågår också kring så kallad ”fotokatalys” där solljus används direkt för att splittra vatten i syrgas och vätgas. Termisk sönderdelning av vatten till väte och syrgas med hjälp av värme förväntas kunna ske i framtidens solkraftverk med CSP-teknik.

En nackdel med bränsleceller är än så länge kostnaden. En betydande del av det höga priset för bränsleceller beror på att de flesta använder metallen platina som katalysator i reaktionerna som sker vid plus- och minuspolerna. Ett gram platina kostar omkring 400 kronor, och räcker till en bränslecell som ger en kilowatt. För att till exempel driva en bil behövs ungefär hundra sådana små bränsleceller. Råvaruresurserna av platina är dessutom begränsade. Forskning som kan hitta andra material för bränsleceller är alltså avgörande för möjligheterna att få ett brett genomslag.

BRÄNSLECELLER I SVENSKA BUSSAR Mellan 2003–2005 deltog kollektivtrafiken i Stockholm i EU-projektet CUTE (Clean Urban Transport for Europe). Tre bränslecellsbussar som drevs med vätgas testades i reguljärtrafik. Tekniskt gick försöket bra men för att bussarna ska vara lönsamma måste bränslecellerna bli mycket billigare. I dag är en bränslecellsbus ungefär tre gånger dyrare än en vanlig buss.



Är vi på väg mot ett vätgassamhälle?

Förutom att ge el i bränsleceller är vätgas ett bra alternativ för att lagra energi från olika energikällor. Att kunna omvandla en del av den energi som genereras på ett effektivt sätt är bland annat viktigt för att jämna ut den naturliga variationen i elproduktion baserad på bland annat solenergi, vind- och vågkraft. När solen inte längre lyser eller när det är vindstilla kan det lager av vätgas som byggs upp användas för att producera el.

Möjligheten att använda energin för att göra vätgas är förmodligen att föredra framför andra lagringsalternativ. Batterier har till exempel sämre verkningsgrad genom laddningsförluster och begränsad livslängd. Om det finns tillgång till vattenkraft finns även alternativet att lagra energi genom att pumpa upp vatten i vattenmagasinen, något som dock har förhållandevis dålig verkningsgrad.

Vätgas kan även användas för att minska energiförluster och ersätta långa transporter av elenergi, till exempel för att kunna utnyttja den solenergi som fångas in i Sahara eller på andra ställen med starkt solljus. Energin kan omvandlas till vätgas genom elektrolys av vatten. Hantering av vätgas är emellertid problematisk eftersom den övergår i flytande form först vid mycket låga temperaturer. Därför har George Olah, Nobelpristagare i kemi, föreslagit att vätgas och koldioxid reageras till metanol som är mer lätthanterlig än vätgas.

Om koldioxiden hämtas från atmosfären finns det alltså en möjlighet att reducera bidraget från de koldioxidutsläpp som andra energikällor står för.

För transporter är väte överlägset många alternativa drivmedel, till exempel innehåller vätgas fyra gånger mer energi än en lika stor viktsmängd olja. Problemet för fordonsindustrin är lagringen av väte. Som det lättaste grundämnet tar det upp större volym än alternativa bränslen eftersom vätgas inte kan fås att bli en vätska med hjälp av kompression vid normala temperaturer. Möjligen kan det gå genom att kombinera höga tryck med kolnanorör och andra nanoteknologiska material som kan ta upp och binda väte – vätgaslagring är ett område där mycken forskning återstår.

Laddad kemi för vår rörliga tillvaro

Batterier erbjuder också en möjlighet att lagra energi på ett enkelt sätt. I dag drivs allt fler apparater av laddningsbara batterier. Allt från telefoner och datorer till bilar får sin energi från den elektrokemiska processen i batterier där energi lagras i form av energirika kemiska föreningar vid elektroderna i batteriets poler.

I motsats till en kondensator, som lagrar en laddning i form av elektroner utspridda över stora metallytor, har batterier på grund av de energirika kemiska föreningarna mycket stor energikapacitet räknat per ytenhet och vikt. I gengäld åldras batterier och blir mindre effektiva efter ett antal tusen uppladdningar och urladdningar. Denna brist beror på att de kemiska reaktionerna inte sker till hundra procent, utan i varje upp- eller urladdningscykel bildas en liten mängd biprodukter. Om dessa inte löser upp sig vid följande laddnings- eller urladdningsreaktioner minskar så småningom utbytet av huvudreaktionen i batteriet och det får allt lägre kapacitet.

Batterier bedöms få kraftigt ökande betydelse i små och medelstora fordon i och med att elmotorernas effektivitet ständigt förbättras. Förutom i rena elbilar kan elmotorer och batterier användas i hybridalternativ, där de kombineras med en liten bränsle driven motor som laddar batteriet. Det gör det möjligt att köra bilen på enbart batteridrift i vissa miljöer, till exempel för att sänka utsläppen av luftföroreningar i städer. Lätta batterier med hög energi-per-vikt-kapacitet samt motorer som är effektiva över ett stort varvtalsområde är viktiga att vidareutveckla, men det behövs också viktiga insatser inom fordonsvikt, friktion och körsätt.

Utvecklingen av nya batterier har dock gått långsamt. Under de senaste 150 åren har kapaciteten sett till energi-per-vikt visserligen fyrdubblats, men det är fortfarande en alldeles för långsamt takt för att batterier ska vara ett konkurrenskraftigt alternativ i många tillämpningar (jämför med Moores lag för elektronik där kapaciteten fördubblas vartannat år!). Många hoppas dock att utvecklingen av bättre elektrodmaterial och nya kemiska substanser i form av polymerer, geler och förnybara bioorganiska material i batterielektrolyterna ska förbättra batterierna. Det gäller särskilt olika litiumbaserade batterisystem.

Batterier och elbilar har också en utmaning utöver kostnad och energitäthet – nämligen brist på resurser, bland annat sällsynta jordartsmetaller. Neodym är en metall som krävs i kraftiga permanentmagneter. De är en förutsättning för effektiva elmotorer, och tillgången på neodym uppges räcka till max sju miljoner elbilar av dagens modell. Litium som används i batterier är också en begränsad resurs. En elbilsrevolution skulle alltså kräva kraftigt utökad gruvdrift, bra återvinningssystem och att kemister inom batteriforskningen uppfinner nya material.

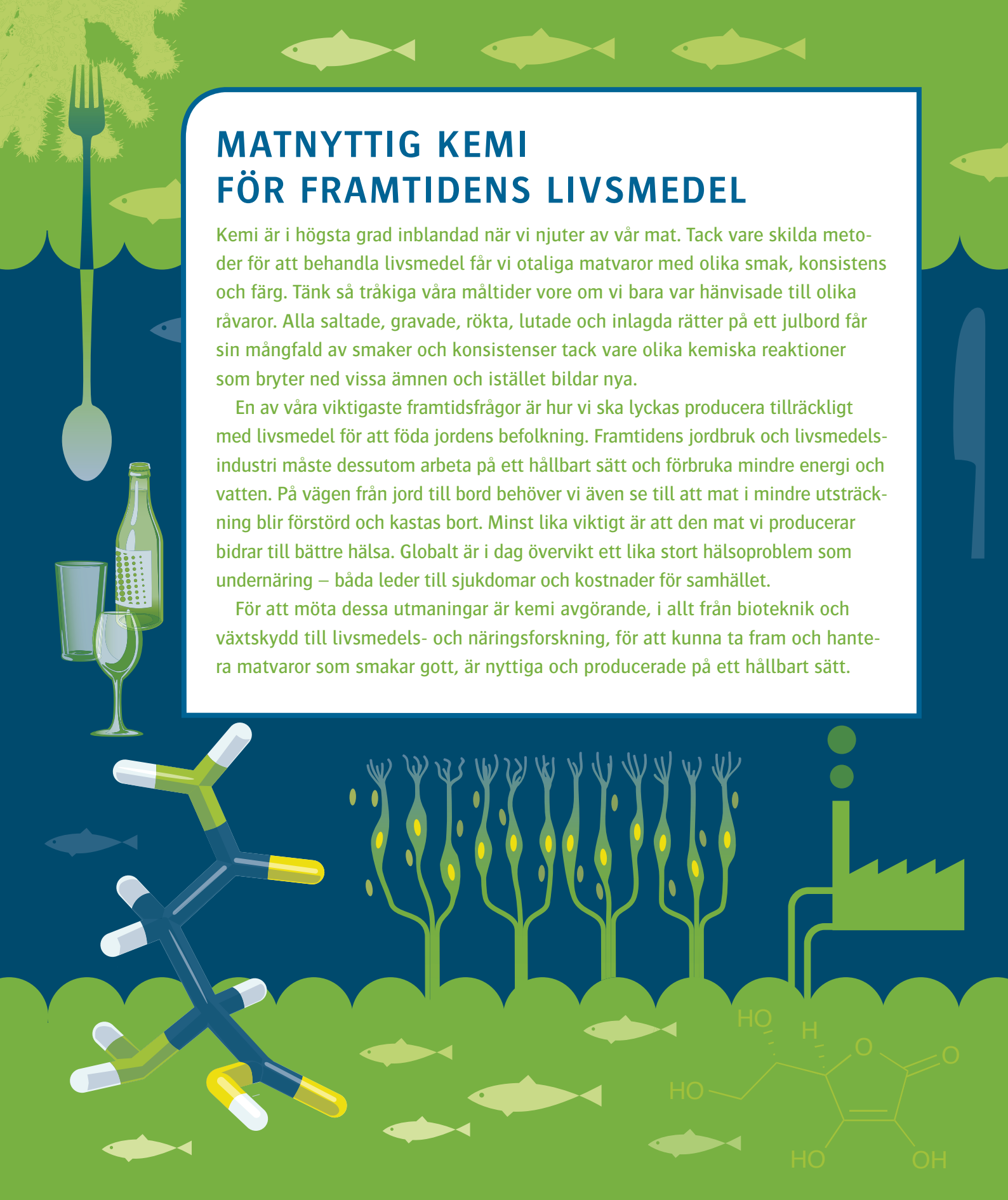
- I omställningen av världens energiförsörjning är kemisk kunskap avgörande för att utveckla och förbättra olika energiformer och förstå deras miljökonsekvenser.
- För fordon behöver oljan ersättas med koldioxidneutrala alternativ, till exempel kolvätebränslen framställda ur vätgas och koldioxid från luften. Elbilar begränsas av långsam batteriutveckling, men framtida möjligheter att lagra vätgas kan göra bränsleceller användbara.
- Metan (biogas) är enkel att framställa och utnyttja, men kräver samtidigt säker hantering eftersom den är en värre växthusgas än koldioxid. Övriga biobränslen har oerhört låg verkningsgrad jämfört med direkt solenergi och är dessutom förenade med olika miljöproblem.
- Koldioxidinfångning och lagring på stora djup kan vara en lösning på kort sikt för att minska utsläppen, men metoden är energikrävande och sannolikt också förknippad med säkerhetsrisker.
- Solenergi är den mest miljövänliga energikällan. Elenergi (eller vätgas) kan genereras i storskaliga solkraftverk, där engagemang i utvecklingen kan vara intressant för svensk kemi- och kraftindustri.
- Solcellsindustrin växer, men för ett bredare genombrott krävs solceller med hög verkningsgrad som kan massproduceras till låga kostnader. Kemibaserad teknologi kan ha unika fördelar jämfört med andra solcellstekniker.
- Vätgas är den mest energitäta formen av kemiskt lagrad energi. Den kan framställas genom vattensplittring i solkraftverk eller kärnkraftverk och användas i bränsleceller för att ge elenergi. Nya sätt att lagra och transportera vätgas kan också göra långa transporter av energi lönsamma.

MATNYTTIG KEMI FÖR FRAMTIDENS LIVSMEDEL

Kemi är i högsta grad inblandad när vi njuter av vår mat. Tack vare skilda metoder för att behandla livsmedel får vi otaliga matvaror med olika smak, konsistens och färg. Tänk så tråkiga våra måltider vore om vi bara var hänvisade till olika råvaror. Alla saltade, gravade, rökta, lutade och inlagda rätter på ett julbord får sin mångfald av smaker och konsistenser tack vare olika kemiska reaktioner som bryter ned vissa ämnen och istället bildar nya.

En av våra viktigaste framtidsfrågor är hur vi ska lyckas producera tillräckligt med livsmedel för att föda jordens befolkning. Framtidens jordbruk och livsmedelsindustri måste dessutom arbeta på ett hållbart sätt och förbruka mindre energi och vatten. På vägen från jord till bord behöver vi även se till att mat i mindre utsträckning blir förstörd och kastas bort. Minst lika viktigt är att den mat vi producerar bidrar till bättre hälsa. Globalt är i dag övervikt ett lika stort hälsoproblem som undernäring – båda leder till sjukdomar och kostnader för samhället.

För att möta dessa utmaningar är kemi avgörande, i allt från bioteknik och växtskydd till livsmedels- och näringsforskning, för att kunna ta fram och hantera matvaror som smakar gott, är nyttiga och producerade på ett hållbart sätt.



ÄVEN OM ORDEN mat och kemi kan tyckas stå för motsatser spelar kemiska kunskaper en avgörande roll vid all matproduktion och matförädling. Livsmedelförsörjning handlar bland annat om kemisk sammansättning, kemiska reaktioner, kemisk uppbyggnad och kemiska kretslopp kopplade till mat. De egenskaper vi vill att ett livsmedel ska ha bestäms av de kemiska komponenter som utgör råvaran, hur den är odlad, lagrad, processad och tillagad. Detta kapitel fokuserar på de många utmaningar och frågeställningar som kräver nya kunskaper inom kemi och biologi. Vi måste bland annat förstå varför människor äter som de gör, hur maten påverkar hälsan, hur lagring och livsmedelsprocesser kan utformas för att uppnå bästa kvalitet.

Matlagning – en kemisk kökskonst

Att laga mat betraktas av vissa som en konst. Egentligen handlar det om att bemästra ett antal kemiska processer som omvandlar livsmedelsråvaror till något som föder oss, och som vi förhoppningsvis njuter av att äta. Matlagning är fortfarande till stora delar ett hantverk, och resulterar i komplexa kemiska strukturer som ger upphov till livsmedlets karakteristiska egenskaper.

Att utforma nya processer för livsmedels-tillverkning är därmed en stor utmaning. Önskemål om mer hälsosamma livsmedel och processer som belastar miljön mindre ställer krav på att vi måste förstå hur den karakteristiska strukturen bildas för att våra råvaror ska ge oss de livsmedel vi vill ha.

En råvara kan ge upphov till flera livsmedelsstrukturer. Hur mjölk kan förvandlas på olika sätt är ett exempel. Från början är mjölk en sammansatt produkt som innehåller både proteiner och fett. Genom att tillsätta ett speciellt enzym går det att få proteinet att ko-

MOLEKYLÄR GASTRONOMI De fysikaliska och kemiska processer som sker när du lagar mat är grunden för molekylär gastronomi. Syftet är att undersöka och förklara de kemiska orsakerna bakom omvandlingen av olika matvaror i matlagningen. Kockar på många av världens främsta restauranger lutar sig mot molekylär gastronomi för att införa nya verktyg, ingredienser och metoder i sina kök. De uppfinnar nya rätter utifrån vetenskapliga kunskaper om hur våra sinnen påverkas av doft- och smakämnen och hur olika ingredienser påverkas av olika matlagningsmetoder.

.....

agulera och bilda en fast och tät struktur som innesluter fett – vi har fått en ost. Mjölk är även basen för bland annat yoghurt, grädde, och glass. När vi gör glass gör mekanisk bearbetning en blandning av iskristaller, mjölkprotein och fett till en homogen smet. Varje ingrediens har sin speciella funktion, som påverkar vår upplevelse av produktens struktur.

Mjöl är en annan basråvara som ger upphov till en rad olika produkter med helt olika egenskaper, till exempel pasta och bröd. En deg består av stärkelsekorn inbäddade i ett proteinnätverk, gluten. När man kokar pasta sväller stärkelsekornen genom att de tar upp vatten, framför allt i ytskiktet. När man bakar bröd, jäser man degen med jäst och de bubbler av koldioxid som bildas ger brödet en luftig karaktär. Vid bakningen sväller stärkelsekornen, men vatten avges också i värmen och det blir en tävling om kvarvarande vatten mellan brödets protein och stärkelse – en fördelning som påverkar brödets egenskaper.

Kemin som ger maten struktur

Matlagning innebär att ge ett livsmedel den struktur som ger det dess karakteristiska egenskaper. Det kan vara att skapa ett skum i bröd, glass, vispgrädde och maräng eller en gel som är grundstrukturen i ägg, marmelad

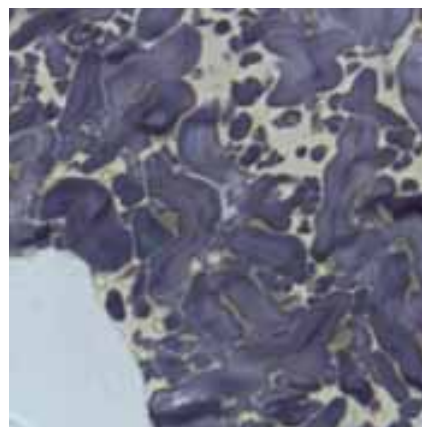
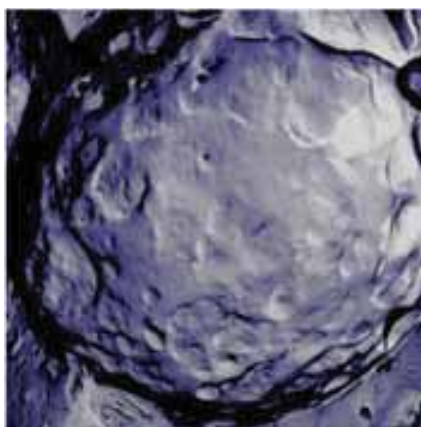
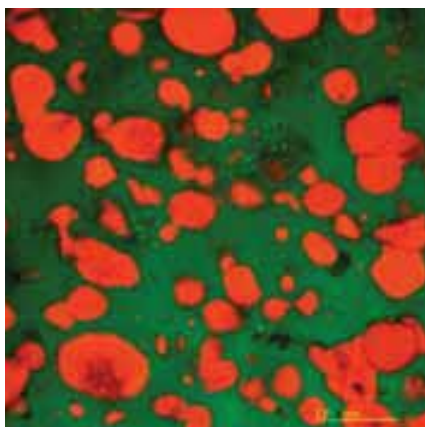


FOTO: KIDMAN, JORDANSSON, LANGTON OCH HERMANSSON

och färsprodukter. Den tredje strukturtypen är så kallad emulsion, där en oljefas blandas med en vattenfas i till exempel majonnäs, smör eller korv. De olika faserna måste samverka på ett önskat sätt vid strukturbildningen och stabiliseras för att inte kollapsa.

De vanligaste tillsatserna för att bilda och stabilisera strukturer vid matlagning är salt och ägg. I malda köttprodukter luckrar salt upp köttfibrerna och gör att de sväller, så att man får en saftig och sammanhängande produkt. Salt används också för att stabilisera geler. Ägg har många funktioner och används för att bilda alla tre strukturtyperna. Äggvitan används som skumbildare i många sammanhang. Gulan innehåller lecitin som är ett emulgeringsmedel och stabiliserar emulsioner. Dessutom bildar ägget gel och används som konsistensgivare och för att binda ihop strukturen i till exempel färsprodukter. En annan vanlig konsistensgivare är pektin som finns naturligt i cellväggar i bär och citrusfrukter och ger rätt konsistens åt sylt. Pektin finns även i gelatin och mjöl.

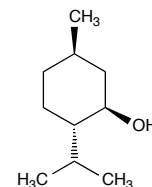
Den livsmedelkemiska forskningen kartlägger vad som händer med strukturerna när man lagar mat. På så sätt ökar kunskapen om hur vi bäst kan använda olika basråvaror, ut-

Mat i mikroskop. Genom att undersöka matvaror i detalj kan livsmedelkemister kartlägga vad som ger upphov till olika matvarors egenskaper. Bilden till vänster visar mikrostrukturen hos en ost, där det gröna är proteinstrukturen som omsluter den rödfärgade fettfasen. Den mittersta bilden visar en luftbubbla i glass. De små runda avtrycken på ytan är fett droppar som stabiliserar luftbubblan och hindrar glassen från att kollapsa. Bilden till höger visar en degstruktur med blåfärgade stärkelsekorn i en guldfärgad proteinfas.

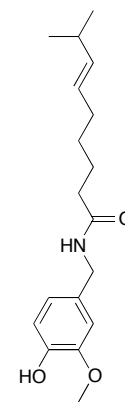
forma tillverkningsprocesser för att få strukturer som ger högsta möjliga kvalitet och få ut näringsämnen på ett optimalt sätt.

Fem smaker och tusentals lukter

Matens lukt och smak är avgörande för hur vi uppskattar den. Hur maten påverkar våra sinnen varnar oss också för om maten blivit för gammal eller på andra sätt blivit otjänlig. När vi talar om att mat smakar något är det egentligen en kombination av smak som vi uppfattar i munhålan, och lukt som vi uppfattar i näsan. Till det kommer vår förmåga att känna kyla, hetta och smärta – till exempel upplever vi mint som innehåller ämnet mentol som ”kylande” medan chilifrukt som innehåller ämnet capsaicin bränner på tungan.



Mentol



Capsaicin

VISSTE DU ATT... mycket av den mat vi äter går kemiskt och fysikaliskt att beskriva som antingen skum, emulsion eller gel. En vanlig smörgås består till exempel av bröd som är gräddat skum, ett tunt lager smör som är en emulsion och ovanpå det en skiva lagrad gel i form av ost. I ett skum har luftbubblor vispats in eller bildats genom jäsnings. Bubblorna hindras från att kollapsa genom ett stabiliserande skikt av molekyler, kristaller eller små partiklar. En emulsion innehåller både fett och vatten, som kan blanda sig med hjälp av ett ytaktivt ämne som trivs i båda faserna och kan stabilisera gränssytan. Emulsioner kan bestå av fett i vatten, som till exempel majonnäs, eller vatten i fett som smör. I en gel binds molekyler ihop till ett tredimensionellt nätverk som både ger konsistens och innesluter andra komponenter som luftbubblor, fiberrester eller fett droppar.

När vi tuggar mat löser vi ut smakämnen som får kontakt med våra smakreceptorer i munnen, medan flyktiga luktämnen når näsan och luktreceptorerna. Kombinationen ger den totala upplevelsen i vilken lukten med sin komplexitet oftast dominerar. Att luktande ämnen behöver vara flyktiga beror på att de måste ta sig högst upp i näshålan där våra närmare tusen olika luktreceptorer sitter. Luktsinnet är alltså betydligt mer komplext än smaksinnet, som bara kan identifiera fem olika smaker. De lukter vi kan uppfatta är normalt en kombination av flera flyktiga ämnen – antalet kombinationer, och därmed lukter, är i det närmaste obegränsat.

LIVSMEDELSINDUSTRIN är Sveriges fjärde största industribransch och vidareförädlar i huvudsak svenska jordbruks- och fiskråvaror. Förädlade livsmedel utgör två tredjedelar av svensk livsmedelsexport, som 2009 uppgick till cirka 50 miljarder kronor. En styrkefaktor för svensk livsmedelsindustri är nära samverkan med näringsforskning samt företag inom förpackningar och processutrustning. Det gör att Sverige är en pilotmarknad för såväl hälsoprofilerade produkter som för nya processer och förpackningslösningar.

LIVSMEDELSFORSKNING Forskning kan stärka den svenska livsmedelsindustrins konkurrenskraft och vara till nytta både för samhället och konsumenter. Formas och VINNOVA driver i samverkan med näringslivet ett tvärvetenskapligt forskningsprogram inom livsmedelsområdet. Målet är att få livsmedel med hållbar produktion som bidrar till konsumenternas hälsa och välmående. Programmet omfattar 200 miljoner kronor under fem år, och stöder tillämpad forskning. Det behövs också ett kraftfullt stöd till grundläggande forskning inom livsmedelsområdet.

Alla livsmedelsråvaror innehåller lukt- och smakämnen, och som konsumenter väljer vi bland olika sorter i affären genom att lukta och smaka. Det kan vara stora skillnader mellan till exempel olika tomater och jordgubbar, och vi har ofta en bestämd uppfattning om vad vi föredrar.

Förädlingen påverkar sedan ett livsmedel på många olika sätt, kemiskt såväl som enzymatiskt. Ett väldigt tydligt exempel är surströmming, där mjölksyrajäsning (fermentering) gör att starka smak- och luktämnen bildas. Mindre drastiska exempel är salami, isterband och annan rökt fermenterad korv som får sin smak dels av ämnen från röken, dels från ämnen som bildas enzymatiskt genom fermenteringen. Detsamma gäller utvecklingen av olika smaker från bland annat malt och humle vid öltillverkning.

Lagringen bidrar också till att livsmedel får nya smaker och lukter. De långsamma kemiska reaktionerna som sker under lagringen är ofta avgörande för att få fram den komplexa blandningen av smak- och luktämnen som kännetecknar olika delikatesser.

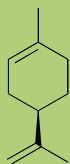
Slutligen förändrar tillagningen lukt och smak i huvudsak genom kemiska förändringar av olika ämnen vid hög temperatur. Mästerkockar som skapar välsmakande underverk utnyttjar den mångfald av reaktio-

ner som kan ske vid spisen, baserat på erfarenhet och gott smak- och doftsinne. En typ av reaktion som är särskilt betydelsefull för arombildning vid värmebehandling av mat är en reaktion som sker mellan socker och aminosyror, kallad maillardreaktionen. Ett annat namn är brunfärgningsreaktion, eftersom den ger brödet sin bruna yta eller köttet sin bruna stekskorpa. Maillardreaktionen ger upphov till en stor mängd kemiska produkter, av vilka vissa åstadkommer den bruna färgen medan andra är aromämnen. Bröd luktar och smakar som bröd och kaffet som kaffe beroende på specifika ämnen som bildas i maillardreaktionen.

VISSTE DU ATT... forskare har identifierat omkring 400 flyktiga aromämnen i jordgubbar och mer än 700 i rostat kaffe. Ofta består livsmedel bara till 0,01 procent av luktämnen, men den lilla mängden räcker för att ge karaktär nog för att du kan känna igen livsmedlets doft – och på långt håll tycka att det luktar gott eller förskräckligt. Även om de typiska lukterna nästan alltid baserar sig på en kombination av flera olika kemiska komponenter, finns det enskilda ämnen som man tydligt förknippar med specifika livsmedel. Exempel är diacetyl med en typisk smörarom, limonen som luktar citrus och 1-okten-3-ol som har tydlig svamplukt.



Diacetyl



Limonen

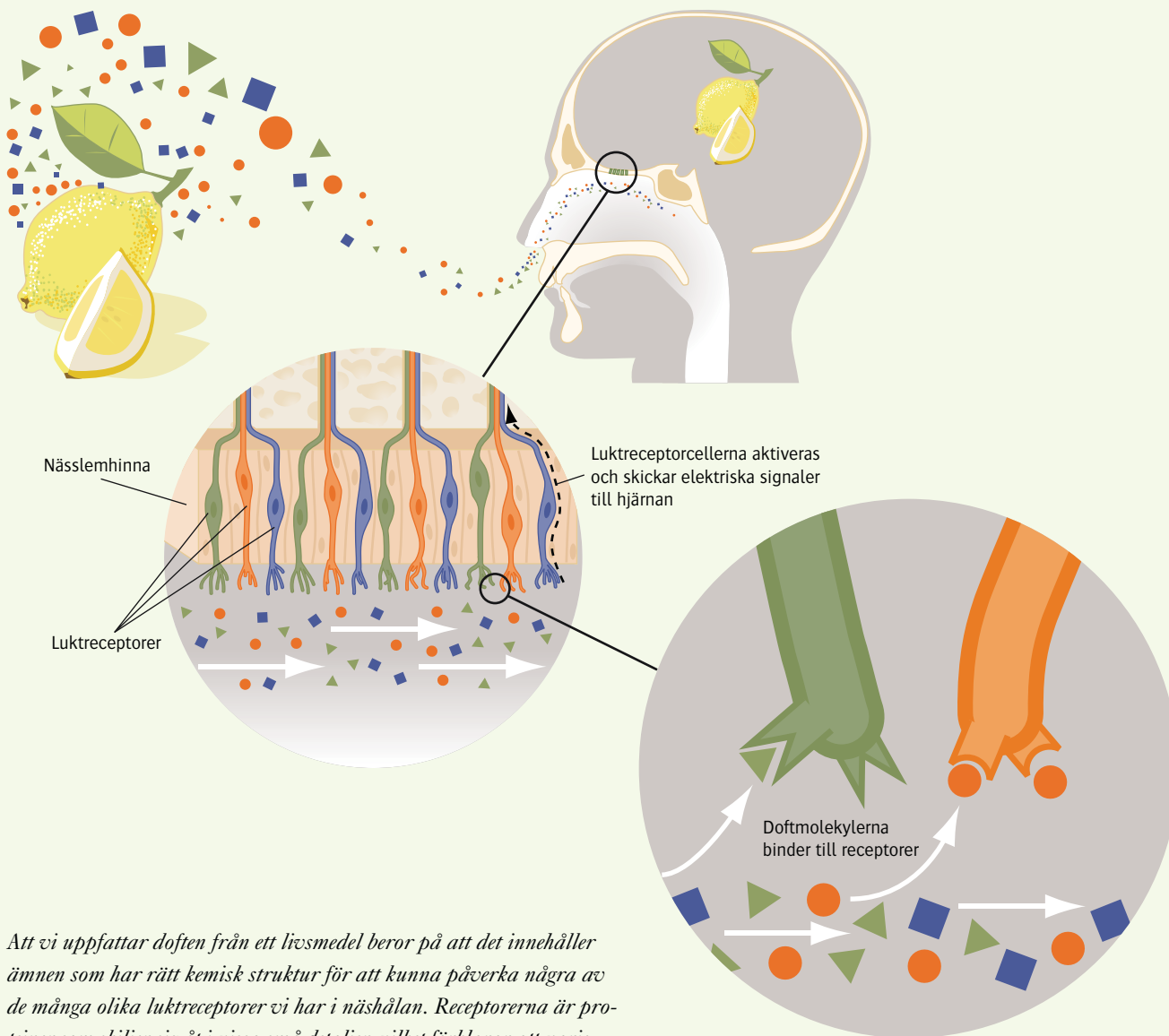


1-okten-3-ol

Vad händer när man lagrar maten?

I den nylagade maträtten eller det nyproducerade livsmedlet finns förhoppningsvis rätt ämnen, dessutom organiserade så att produkten motsvarar förväntningarna när det gäller utseende, smak, konsistens och näringsinnehåll. Nu sätter dock andra kemiska processer i gång som påverkar livsmedlet. De kan bero på närvaron av mikroorganismer som bakterier och mögelsvampar. Andra orsaker kan vara att enzymer bryter ned produkten, att flyktiga komponenter avdunstar, härskning och andra kemiska reaktioner som sker spontant i livsmedlet eller strukturella förändringar som beror på att ämnena organiserar om sig.

Vilken eller vilka av dessa processer som är avgörande beror naturligtvis på vilket livsmedel det är fråga om. Förändringarna som sker under lagring resulterar dock förr eller senare i att produktens kvalitet försämras. Ett problem är att vi kastar mycket av den mat vi köper, vilket är ett allvarligt slöseri med de resurser som gått åt för att producere-



Att vi uppfattar doften från ett livsmedel beror på att det innehåller ämnen som har rätt kemisk struktur för att kunna påverka några av de många olika luktreceptorer vi har i näshålan. Receptorerna är proteiner som skiljer sig åt i vissa små detaljer, vilket förklarar att varje doftämne passar ihop med en viss receptor. När receptorn aktiveras reagerar den genom att skicka signaler via nervsystemet till hjärnan, där signalerna från olika luktreceptorer bildar ett mönster som den tolkar som en upplevd doft.

ra och transportera maten hem till oss. Varje svensk uppskattas slänga 100 kilo mat årligen, varav hälften är "onödigt" avfall i form av tjänilig mat. Matkedjorna slänger varje år över 100 000 ton mat värd cirka två miljarder kronor.

Att öka den kemiska förståelsen för vad som händer i olika livsmedel är viktigt för att kunna hantera dem på bästa sätt och kunna avgöra när maten verkligen är otjänlig.

Ibland tillför vi själva omedvetet enzymer som påskyndar olika biokemiska reaktioner i maten. Ett exempel är en påbörjad barnmatsburk med kräm som efter en natt i kylskåpet inte längre är en tjock härlig kräm utan en rinnig soppa. Det beror på att amylas, ett enzym som bryter ned stärkelse och som finns naturligt i barnets mun, via skeden hamnar i krämen och brutit ned stärkelsen som gav den tjocka konsistensen.

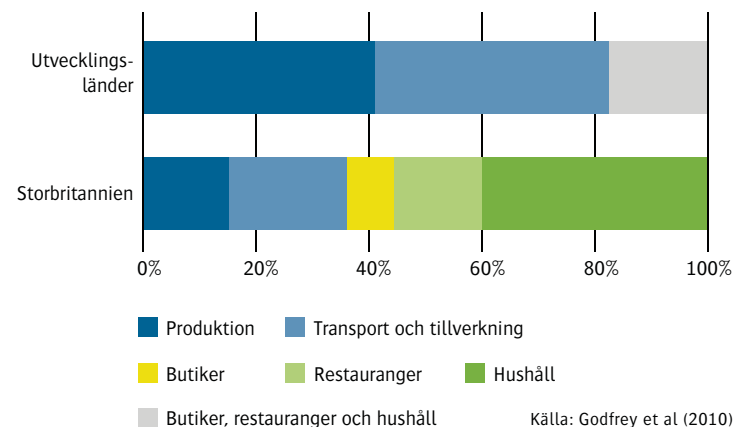
Temperaturen vid vilken vi förvarar livsmedel är viktig för deras stabilitet. I kyl och frys minskar den mikrobiologiska aktiviteten, i och med att till exempel bakterier i maten förökar sig långsammare. Samtidigt sker andra förändringar vid låga temperaturer. I krämen som ställs in i kylskåpet börjar amylos, en av de polymerer som finns i stärkelse, bilda kristaller. Krämens förmåga att binda vatten påverkas därmed, vilket gör att det bildas ett vattenskikt ovanpå krämen. Amyloskristallerna har en hög smältpunkt och det räcker därför inte att bara skaka produkten för att få tillbaka den ursprungliga konsistensen. Det krävs att krämen värms till över 100 °C, vilket inte är så lätt hemma i köket, för att kristallerna ska brytas upp så att krämen återigen kan binda mer vatten.

Generellt bör man undvika växlingar mellan olika temperaturer, i till exempel glass växer iskristallerna varje gång glassen tinar och fryses igen och de stora iskristallerna känns sandiga och gryniga i munnen.

TILLSATSER – ONÖDIGA ELLER NÖDVÄNDIGA? Tillsatser i mat är något som har debatterats flitigt de senaste åren. Säkert vill de flesta av oss ha livsmedel med så få tillsatser som möjligt, men samtidigt väljer vi kanske ändå mat som innehåller sådana – för att produkterna tilltalar oss estetiskt eller har lång hållbarhet. Vilka tillsatser som är "onödiga" är alltså till stor del upp till oss konsumenter att avgöra. Till de mer nödvändiga hör konserveringsmedel som bensoesyra och natriumnitrit. Bensoesyra är en organisk syra som förekommer naturligt i många bär. Den tillsätts för att förhindra att saft och sylt möglar eller jäser. Natriumnitrit används som konserveringsmedel i köttprodukter för att förhindra tillväxten av bakterier som producerar det dödliga botulinumtoxinet. För att bli godkänd inom EU måste en tillsats bedömas som säker och av värde för konsumenten eller nödvändig för hanteringen av livsmedlet. Bland de cirka 320 godkända tillsatserna finns sådana som ökar hållbarheten (konserveringsmedel och antioxidationsmedel), påverkar konsistensen (emulgeringsmedel, stabiliseringsmedel, förtjockningsmedel, klumpförebyggande medel) samt påverkar smaken eller ger färg (färgämnen, smakförstärkare, sötningsmedel).



Livsmedelsförluster i olika led



Omkring 30–40 procent av maten som produceras går förlorad på vägen från jord till bord, men orsakerna skiljer sig åt mellan olika delar av världen. I utvecklingsländer står växt- och djursjukdomar, skadeinsekter och dåliga förvaringsmöjligheter för en stor del av förlusterna. I väst är det istället i konsumentledet som mest mat försvinner. Kemien kan bidra till att lösa dessa problem genom att erbjuda nya sätt att skydda skördar, enkel kylförvaring, effektivare livsmedelsprocesser och förpackningar som gör att livsmedel håller sig fräscha längre och inte slängs bort.

Olivolja och andra livsmedel som innehåller mycket omättat fett ska förvaras svalt och mörkt för att förhindra de kemiska reaktioner som oxiderar och förstör dem. Reaktionen är beroende av luftens syre. Bra förpackningar kan förhindra att luft kommer i kontakt med livsmedlet. Antioxidanter kan också stoppa reaktionerna och få omättade fetter att hålla längre. Till exempel innehåller smör och margarin mjölkproteiner som bromsar oxidationen.

Mat för hälsa eller ohälsa

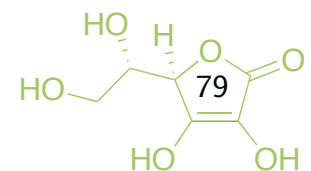
Vi läser nästan varje dag i tidningar om nya rön som visar att viss mat är nyttig och att annan mat är farlig för hälsan. Inte sällan kan dessutom samma livsmedel påverka oss både positivt och negativt. Allt fler blir medvetna om matens betydelse för hälsan, och eftersom vi i genomsnitt under en livstid sätter i oss cirka 50 ton mat så slinker det med ett och annat förutom de näringsämnen som behövs för energi, uppbyggnad och funktion i kroppen.

Kolhydrater är vår viktigaste energikälla. Proteiner, vissa fettsyror, vitaminer och mineraler behövs också för att bygga upp och underhålla vävnader. Vissa fleromättade fettsyror (omega-3 och omega-6) är viktiga bland annat för hjärnans funktion och för cellväggarnas uppbyggnad, och de har också en direkt effekt på aktiveringen av gener.

Att kroppen befinner sig i energibalans är grunden till att vi ska kunna behålla vikten. Något som kan vara svårt i ett samhälle där det finns ständig tillgång till föda. Kolhydrater, protein och fett är alla energigivande näringsämnen. Äter vi mer än vad kroppen förbrukar i basal ämnesomsättning och för fysisk aktivitet leder det till viktuppgång. Övervikt, särskilt bukfetma, är en starkt bidragande orsak till utveckling av det så kallade metabola syn-

VARFÖR ÄR SUSHI BARA GOD NÄR DEN ÄR FÄRSK? Många tycker att sushi måste ätas purfärsk för att vara njutbar. När den finns som färdigrätt i butikens kylskåp är det den bakteriella hållbarheten på fisken som avgör vid vilken temperatur sushi ska lagras. Efter något dygn är sushin fortfarande ätbar sett till bakteriehalten, men den är inte längre lika aptitlig. Den låga temperaturen har lett till att stärkelsen i riset har omvandlats till kristaller, vilket gör att riset blir hårdare.

VILKEN MAT SKA VI ÄTA? Näringsrekommendationer ger råd om kostens sammansättning för att tillgodose vårt aktuella näringsbehov och för att förebygga sjukdomar. Målet är att rekommendationerna ska fungera som riktlinjer för en god kost grundat på vetenskaplig forskning. De flesta studier av livsmedel och kostens effekter på kroppen kan dock inte förklara mekanismen bakom effekter av olika kostintag, utan mäter parametrar i blodet som till exempel blodfetter och andra biomarkörer för sjukdom eller hälsa. Det gör att det är svårt att dra generella slutsatser och är en orsak till att forskare inte alltid är eniga om olika kostkomponenters effekter på hälsa. För att kunna förklara mekanismer bakom hälsoeffekter behöver man göra studier i cell- och djurmodeller samt människa för att studera hur gener, celler och ämnesomsättning påverkas. De nordiska länderna samarbetar sedan länge kring näringsrekommendationerna och de senaste kom ut år 2004. De revideras vart åttonde år vilket gör att en ny revision har påbörjats och väntas vara färdig år 2012. Dagens kostråd baserade på rekommendationerna innebär i praktiken att vi ska äta mer grönsaker, frukt och bär, bröd och spannmålsprodukter med hög andel fullkorn, samtidigt som konsumtionen av energitäta och sockerrika livsmedel bör begränsas. Magra mejeri- och köttprodukter bör prioriteras så att intaget av mättat fett minskar, och konsumtionen av fisk bör öka (innehåller omega-3-fettsyror). I framtiden kanske man kan ge varje individ kostråd som är optimala med hänsyn till genuppsättningen, så kallad personalized nutrition.



dromet, med blodfettrubbningar, högt blodtryck, nedsatt insulinkänslighet och åldersdiabetes samt hjärt- och kärlsjukdomar som följd. Samhällets kostnader bara för sjukfrånvaro till följd av övervikt

beräknas till tio miljarder kronor.

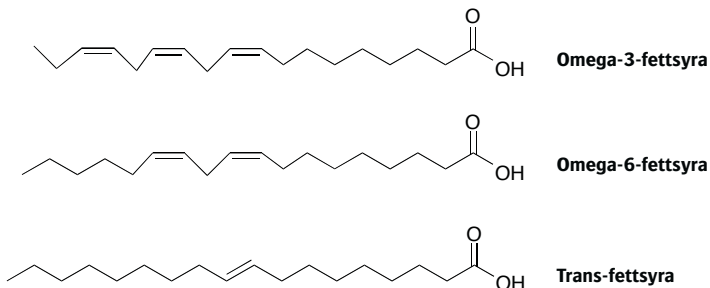
Mat innehåller också små mängder av så kallat biologiskt aktiva ämnen, ämnen som har specifika effekter och kan påverka hälsan genom att verka på våra gener, celler eller vår ämnesomsättning.

Vi vet genom så kallade epidemiologiska studier där man undersöker effekten av kosten i stora befolkningsgrupper, att de som äter frukt, grönt, fullkorn och fisk oftare får ett långt liv och en god hälsa. Ännu vet vi dock för lite om vad i dessa livsmedel som ger den effekten. Det kan bero på omega-3-fettsyror som påverkar bland annat blodfetter och minskar utvecklingen av åderförkalkning, eller på polyfenoler som finns i växter och påverkar energiproduktionen i celler och motverkar att de åldras.

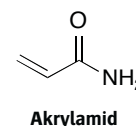
Troligtvis är det kombinationer av ämnen i maten som ger hälsoeffekter, vilket gör att man kan förvänta sig en mer positiv effekt av fisk och fullkorn än av isolerad fiskolja och kli från kornet. För att kunna fastlägga sådana hypoteser är vi beroende av avancerade kemiska kunskaper för att analysera innehållet i maten, för att förstå vad som händer vid nedbrytning i tarmen, för att studera vad som kan tas upp i kroppen och för att identifiera de ämnen som är verksamma i kroppen.

Ett exempel är kostfibrer, som allmänt anses vara bra för vår hälsa men även påverkar ett livsmedels övriga kvalitetsegenskaper som smak, konsistens och hållbar-

MÅNGA OLIKA FETTER Fett är ett viktigt näringsämne – men också ett ämne för debatt. Att fettkvaliteten har stor betydelse har alltmer uppmärksammats. Mättade, enkelomättade och fleromättade fetter skiljer sig kemiskt från varandra och i hur de påverkar vår hälsa. Omega-3 och omega-6 är fleromättade fettsyror som kroppen inte själv kan bilda, och som vi därför måste få i oss via maten. I vår moderna kost är det ingen brist på omega-6-fettsyror, däremot gäller det att vi får i oss tillräckligt av omega-3-fettsyrorna. Tvärtom mår vi inte bra av de transfetter som bildas när omättat fett delvis härdas till mättat fett för att öka hållbarheten och styra fasthet och smältpunkt för fett. Skillnaden i hur fetterna påverkar vår hälsa beror på hur kolkedjorna i fettsyror som de består av är uppbyggda. Omättade fettsyror har tappat två eller fler väteatomer och kolkedjan innehåller fler så kallade dubbelbindningar. En enkel tumregel är att ju hårdare ett fett är i rumstemperatur desto mer mättat fett innehåller det.



AKRYLAMID I MATEN I början av 2002 fick svenska forskare stor internationell uppmärksamhet när de visade att vissa livsmedel innehåller ämnet akrylamid som eventuellt kan orsaka cancer hos människor. Akrylamid bildas framför allt genom en reaktion mellan aminosyran asparagin och socker vid höga temperaturer, särskilt vid processer som stekning, bakning och rostning. Världshälsoorganisationen (WHO) klassar ämnet som "sannolikt cancerframkallande hos människa" och livsmedelsindustrin har försökt anpassa sina tillverkningsprocesser för att minska halterna av akrylamid i sina produkter utan att försämra produktens egenskaper. Ämnet används även för olika applikationer inom industrin och blev "känt" när det läckte ut i naturen från en misslyckad tätning av berget i bygget av tunneln genom Hallandsåsen.



het. Kostfibrer består av kolhydratpolymerer som inte bryts ned och tas upp i vår tunntarm och därmed inte ger någon energi. Sådana kolhydrater finns ofta i växters cellväggar och därmed i fullkornsprodukter, bönor, frukt och grönt. Ett sätt att mäta halten kostfibrer i ett prov är att frigöra fibrernas byggstenar och analysera dessa. Enkla analysmetoder kan visa på totalinnehåll och ge underlag för enklare näringsdeklarationer. Mer avancerade metoder beskriver i detalj de olika byggstenarna och kan användas för att avgöra hur kostfibrernas struktur och egenskaper förändras i livsmedelsprocesser eller hur de påverkar matsmältning och hälsa.

Många saker påverkar hur nyttig maten är

Halterna av olika nyttiga ämnen påverkas starkt av hur odling, uppfödning, skörd och slakt har skett, liksom av hur råvaran processas, distribueras, lagras och tillagas. Till exempel påverkas innehållet av omega 3-fettsyror i odlad fisk av vilket foder fisken fått. Jordmånen kan påverka mineralinnehållet i säd och vegetabilier, men även grödans sort kan vara av stor betydelse. Under lagring kan fetter härskna och innehållet av vitaminer reduceras. Olika livsmedelsprocesser och tillagning kan också bevara eller bryta ned nyttiga ämnen, och göra dem mer eller mindre tillgängliga. Till exempel kan gravning av råvaror göra att proteiner bryts ned så att fria aminosyror blir tillgängliga för oss. Fermentering frigör järn och vitaminer så att de lättare tas upp av kroppen. Det kan även ge råvaror ett lägre glykemiskt index (GI), vilket anger hur mycket olika kolhydratrika livsmedel höjer blodsockret när man ätit dem.

Att kemiskt förstå vad som händer med olika livsmedel och kunna optimera processmetoder med avseende på parametrar som temperatur, tid och vattenhalt kan alltså bidra till att vi får fler nyttiga livsmedel.

Det går också att tillsätta viktiga näringsämnen till maten för att göra den nyttigare. Ett alternativ eller komplement till det är att öka näringsvärdet i spannmål och baljväxter genom att på olika sätt få grödorna att själva producera mer av önskade näringsämnen, så kallad bioberikning. Bioberikade livsmedel kan användas för att bekämpa undernäring i utvecklingsländer, där kosten ofta är ensidig och baserad på stapelföda. Miljarder människor i dessa länder är drabbade av ohälsa på grund av brist på vitamin A och järn, vilket ofta leder till blindhet respektive försämrad utveckling av hjärnans funktion. Ett exempel på bioberikning utgör Golden Rice där man med hjälp av genmodifiering har utvecklat ris som innehåller höga halter av beta-karoten, vilket i kroppen kan omvandlas till vitamin A. Andra exempel på bioberikning med järn och vitamin A utgör vete, majs, kassava, sötpotatis och bönor.

Livsmedelskemister har också lärt oss att det sätt på vilket vi tillagar maten avgör om det riskerar att bildas ämnen som inte är nyttiga. Grillning vid hög temperatur och rökning ger upphov till ämnen i bland annat kött som många tycker smakar gott, men samtidigt kan de skada vår arvs massa och öka risken att drabbas av cancer. Vid upphettning av vissa råvaror kan det också via maillardreaktionen bildas akrylamid, ett ämne som är misstänkt för att vara cancerframkallande. Exempel på denna typ av produkter är kaffe, friterade potatisprodukter och skorpan på bröd. Fördjupad kunskap om de kemiska reaktioner och processer som sker då mat framställs och

tillagas är alltså även viktig för att minska innehållet av dessa farliga ämnen, utan att förändra livsmedlens lukt, smak och färg som ofta är beroende av just uppvärmningen.

Hur ska vi föda alla i framtiden?

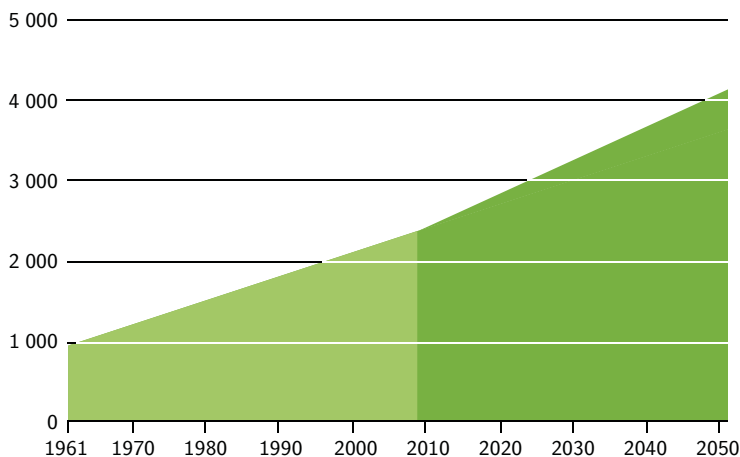
Kunskaper om kemiska processer är inte bara avgörande för att förädla olika livsmedel till god och nyttig mat. Lika betydelsefull är kemien för ett effektivt jordbruk. Jordens befolkning växer med 70 miljoner nya människor per år, och från att i dag vara sex miljarder beräknas vi bli bortåt åtta miljarder år 2025. Världsbanken bedömer att livsmedelsproduktionen måste fördubblas till 2050. Samtidigt minskar tillgången på odlingsbar mark på grund av bland annat urbanisering, och matproduktionen måste ske i ökande konkurrens med biobränslen. Redan i dag beräknas dessutom en miljard människor vara undernärda.

Förutom insatser för att fördela det vi producerar på ett bättre sätt, står framtidens livsmedelsförsörjning alltså inför en stor utmaning – att kraftigt öka produktionen per hektar. Kemisk kunskap är viktig för att lyckas med detta på ett hållbart sätt.

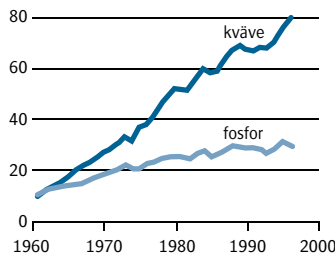
Tillgången till viktiga jordbrukskemikalier har i högsta grad bidragit till att livsmedelsproduktionen har kunnat öka kraftigt de senaste decennierna. Olika medel för att kontrollera ogräs och skadegörare är ett exempel, och behovet är tydligt med tanke på att upp till 40 procent av jordbruksproduktionen skulle förloras utan dagens användning av bekämpningsmedel. På samma sätt hjälper gödningsmedel jordbruket att uppnå önskad kvalitet och produktionsnivå.

Den allt högre avkastningen i världens jordbruk som behövs framöver kan dock inte fortsätta att lita till dagens metoder för att öka skördarna. Kemiska vetenskaper i sam-

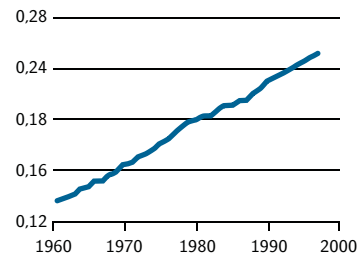
Global spannmålsproduktion och uppskattat framtida behov, miljoner ton



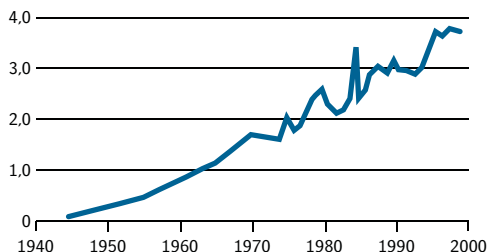
Global användning av kväve- och fosforgödningsmedel (exkl. tidigare Sovjetunionen), miljoner ton



Global bevattning, miljarder hektar



Global produktion av bekämpningsmedel, miljoner ton



Källa: FAO och Tilman et al (2002)

Den globala produktionen av spannmål har mer än fördubblats på 50 år. Den imponerade utvecklingen har delvis varit möjlig med hjälp av konstgödning, bevattning och bekämpningsmedel – som dock riskerar att leda till miljöproblem. Utmaningen för framtida produktion är att den måste vara hållbar och inte tära på miljön, och samtidigt öka ännu snabbare för att kunna möta beräknat livsmedelsbehov. Kemisk kunskap är viktig vad gäller allt från bättre grödor till hur befintliga resurser ska användas effektivare.

verkan med biologisk och ekologisk expertis är avgörande för att ta fram ny kunskap så att vi får mer och hälsosammare mat, producerad med mindre insatser av bekämpningsmedel, gödningsmedel, krympande vattenresurser och fossila bränslen. Maten måste också produceras med omsorg för djuren i lantbruket och på ett sätt som stärker olika positiva miljöeffekter, som att vi får ett vackert kulturlandskap och kan bibehålla en biologisk mångfald.

Kemi för en hållbar livsmedelsproduktion

För att klara att föda fler med mindre resurser krävs på sikt att vi förstår hur växter och djur fungerar ända ned på cell- och molekylnivå. Kemikunskaper är även av avgörande betydelse



GENMODIFIERAD MAT Människan har i alla tider försökt förbättra kulturväxter och djur genom att förändra deras arvs massa med hjälp av olika korsnings- och förädlingsmetoder eller avel. Utvecklingen inom gentekniken har skapat nya möjligheter att tillföra grödor och djur egenskaper, bland annat via gener från helt andra arter. Genetiskt modifierade grödor har funnits på världsmarknaden i över tio år. Gentekniken kan användas för att ta fram sorter med till exempel motståndskraft mot skadeinsekter eller växtsjukdomar. Dessutom kan man använda genteknik för att ta fram livsmedel som innehåller mer vitaminer eller har andra näringsmässiga fördelar. Det finns också förhoppningar om att genetiskt modifierade djur ska kunna omvandla det foder de äter mer effektivt till kött eller mjölk. Gentekniken är dock omdiskuterad. EU har världens hårdaste lagstiftning kring genetiskt modifierade organismer. Experter vid den europeiska livsmedelssäkerhetsmyndigheten EFSA bedömer om en ny gröda är lika säker att äta som den konventionella grödan. Den bedöms också ur miljösynpunkt, till exempel om den kan bli ett besvärligt ogräs eller få andra negativa konsekvenser. I Sverige finns bara ett fåtal produkter på marknaden. De största genetiskt modifierade grödorna i världen är soja, majs, raps och ris. Biotekniska verktyg kan också användas för att göra den traditionella växtförädlingen och aveln snabbare och mer träffsäker. Bland annat kan molekylära markörer som kopplas till önskade arvsanlag göra det lättare att välja ut just de avkommor som fått önskade egenskaper.

delse för att ta fram nya effektiva och miljövänliga jordbrukskemikalier.

Inom växtskydd är en strategi att utveckla växtsorter som är resistent mot bland annat skadeinsekter. Biokemiska metoder är viktiga hjälpmedel i det arbetet, både för att öka takten i traditionell växtförädling och för att utveckla genetiskt modifierade grödor. Till det senare hör bland annat majs som fått en gen från en bakterie och därför tillverkar proteiner som är giftiga för skadeinsekter. Majssorten har visat sig minska behovet av insektsmedel, men samtidigt är kritiken mot genetiskt modifierade grödor att det är svårt att överblicka deras långsiktiga hälso- och miljöeffekter.

En annan strategi för bättre växtskydd är att utforska den kemiska kommunikationen mellan växter och insekter. De specifika ämnen som styr samspelet mellan individer av samma art eller mellan olika arter är ofta doftämnen. Kunskaperna blir allt bättre om hur ytterst små mängder av de kemiska signalerna kan styra växters motståndskraft mot skadegörande insekter respektive hur insekterna väljer föda och fortplantar sig. Kemiska signalsubstanser används redan för att skydda bland annat majs samt frukt- och bärodling, och fortsatt forskning kan förhoppningsvis göra det möjligt att ersätta många av dagens bekämpningsmedel. Kemistens uppgift i denna utveckling är att identifiera och tillverka de biologiskt aktiva signalerna och i samverkan med biologer och ekologer utarbeta metoder för hur signalerna ska kunna utnyttjas inom skogs- och lantbruk.

För att maximera skördar tillsätts i dag syntetisk kvävegödning och fosfor inom jordbruket. Åtgärderna har dock sina begränsningar.

Tillverkningen av gödningsmedel är energikrävande och tillgången på fosfor är begränsad. Dessutom leder användningen av växtnäringen till utsläpp av växthusgaser och övergödning när kväve- och fosforföreningar läcker ut i vattenmiljöer.

Bättre kunskaper om olika jordars kemiska egenskaper kan bidra till att optimera odlingsmetoder och på så sätt bidra till ett resurssnålt jordbruk. Ytterligare framgångar kan nås genom att framtidens jordbruk tar hjälp av forskning för att öka förståelsen för de genetiska samband som styr olika gröders tillväxt. Biokemiska verktyg kan då bli viktiga för att ta fram växter som utnyttjar tillgängliga resurser av vatten och näringsämnen effektivare. Växtförädling och genetisk modifiering kan göra det möjligt att få fram jordbruksgrödor som är perenna och inte behöver planteras om varje år eller som kan växa i symbios med kvävefixerande bakterier och bli mer självförsörjande med näring.

- Livsmedelsindustrin är Sveriges fjärde största industribransch – och kunskaper i kemi är livsviktiga för dess framgång och konkurrenskraft.
- De egenskaper vi vill att ett livsmedel ska ha bestäms av de kemiska komponenter som utgör råvaran och hur de påverkas under odling, lagring, processning och tillagning.
- Forskning om mat i hela livsmedelskedjan samt dess hälsoeffekter är viktig för att klara jordens livsmedelsförsörjning, minska miljöbelastningen och möta utmaningar kopplade till övervikt och undernäring. För att nå framgång krävs såväl avancerad grundforskning som tillämpad forskning.
- Ny kunskap kan i framtiden ge oss vetenskapligt underbyggda och troligen individanpassade kostråd, så kallad personalized nutrition, och vi kommer att lära oss mer om varför vi äter som vi gör. Maten har stor betydelse för hälsa och livskvalitet och kan därmed förebygga sjukdom och minska samhällets kostnader, något som inte minst är viktigt då vi står inför en åldrande befolkning i Sverige.
- Om vi ska lyckas fördubbla världens livsmedelsproduktion utan ökad miljöbelastning krävs bättre kunskaper om jordars kemiska egenskaper och de genetiska samband som styr tillväxt och egenskaper hos växter och djur. Det kan ge resurssnåla odlingsmetoder och livsmedel med bättre näringsfunktioner och andra önskade kvalitetsmässiga fördelar.

KEMI – GIFTIGT ELLER NYTTIGT, NATURLIGT ELLER ONATURLIGT?

Kemi förknippas ofta med gifter och otrevliga ämnen. Det kan mycket riktigt finnas problem med kemiska ämnen som läcker ut i miljön. Farliga ämnen kan spridas långa sträckor via vatten och luft eller via produkter och varor. Om de är långlivade i miljön, som miljögifterna dioxiner, kvicksilver och PCB, kommer de att finnas kvar i förhöjda halter i naturen under lång tid framöver.

Många miljöproblem orsakade av farliga metaller och organiska ämnen är rester från gamla utsläpp, som skedde innan riskerna var ordentligt kartlagda. Genom forskning har sedan dess de mest farliga ämnena identifierats, och hanteringen av många regleras i dag av olika miljölagar och internationella konventioner.

Produktionen av kemiska ämnen i världen ökar dock hela tiden. Vi har dålig kunskap om egenskaperna hos många av de föreningar som används och om hur de kan spridas i miljön. Kemisk forskning är även i fortsättningen viktig för att kunna hitta och identifiera vilka ämnen som läcker ut och visar sig ha oönskade egenskaper i miljön.

Många förknippar också kemi med syntetiska ämnen skapade av människan – till skillnad från naturliga ämnen som skulle vara mer harmlösa. Men faktum är att naturen är mycket bättre än de mest skickliga kemisterna på att utveckla extremt giftiga ämnen, många gånger mer giftiga än de mänskligt framställda.

Farliga ämnen behöver inte heller bara vara till problem. Deras giftiga egenskaper kan ibland utnyttjas för goda syften som till exempel för att bekämpa cancer eller andra sjukdomar.



I **DAG TENDERAR ALLT** fler ämnen att klassificeras som hälsovådliga, och ofta beskrivs de utan åtskillnad: helt enkelt som giftiga. Listan över hälsovådliga ämnen blir allt längre och många undrar säkert om allt verkligen kan vara ”så farligt” – det måste finnas skillnad i farlighet, annars skulle vi snart inte kunna röra oss, äta eller andas. Men hur vet man *hur* farligt ett ämne egentligen är?

Paracelsus (1493–1541), ibland kallad toxicologins fader, skrev: *Alle Ding' sind Gift, und nichts ohn' Gift; allein die Dosis macht, daß ein Ding kein Gift ist.* Alltså: Alla ämnen är egentligen gifter – det är bara en fråga om dosen.

Låt oss titta lite närmare på vad ett gift är, vad skiljer ett gift från ett ”miljögift”, ”cellgift”, ”toxin”, eller helt enkelt onyttigt ämne. Viktigt är att det är skillnad på gift och gift. Ett problem med att ropa vargen kommer för ofta är att ingen till slut reagerar när något verkligen är farligt. Den snabbt växande listan på giftiga eller hälsovådliga ämnen graderar ofta inte giftighet och eventuellt tillåtna och möjliga användningsområden.

Regleringar hoppas kunna hitta farliga ämnen

Globalt används stora mängder kemiska ämnen för olika ändamål. För många av de omkring 100 000 ämnen som beräknas finnas i omlopp saknas tillräckliga data för att deras påverkan på hälsa och miljö ska kunna bedömas. De senaste åren har stora förändringar skett inom EU-lagstiftning och genom internationella strategier och konventioner på kemikalieområdet. Sverige är ett av de länder som har drivit på arbetet och som haft stor betydelse bland annat för grundtankar i EU:s kemikalieförordning REACH. Kemikalielagstiftningen trädde i kraft den 1 juni 2007 och är gemensam för alla EU-länder. REACH

OLIKA GRADER AV GIFTIGHET Hur giftigt ett ämne är brukar mätas i så kallad LD₅₀-dos, vilken är den dos av ett ämne som dödar hälften av de försöksdjur som får det. Arsenikoxid, As₂O₃, det vi i dagligt tal kallar arsenik, har ett LD₅₀-värde på 29 milligram per kilo kroppsvikt för människa och kaliumcyanid 10 milligram per kilo för råtta. Betydligt giftigare är ämnen som stryknin, tetrodotoxin och botulinustoxin, vilka alla produceras i naturen. Botulinustoxin är det giftigaste ämne man i dag känner till. LD₅₀-dosen är ett nanogram, det vill säga 0,000000001 gram per kilo. Den dödliga dosen för botulinustoxinet är alltså ungefär 30 miljoner gånger lägre än den dödliga dosen för arsenik.

.....

står för Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, eller på svenska: registrering, utvärdering, godkännande och begränsning av kemikalier. Syftet är att skydda människor och miljö. För varje ämne som tillverkas eller importeras ska en kemikaliesäkerhetsbedömning göras och åtgärder för hur ämnet ska hanteras på ett säkert sätt ska redovisas. Industrin får således ett större ansvar för att bedöma risker och att ge säker information om de ämnen som hanteras.

En central myndighet, Europeiska kemikaliemyndigheten (ECHA) har inrättats för att hantera kemikaliesäkerhetsfrågorna. Myndigheten har sitt säte i Helsingfors och beaktar vetenskapliga och tekniska rön samt användbar socialekonomisk information när den fattar beslut. ECHA kommer också att ge information om kemikalier och teknisk och vetenskaplig rådgivning. Genom att utvärdera och godkänna testningsförslag kommer myndigheten att se till att antalet djurförsök minimeras. REACH föreskriver också att de farligaste kemikalierna ersätts när användbara och säkrare produkter har identifierats.

Ett av de viktigaste argumenten för REACH-överenskommelsen var att ett stort antal substanser marknadsfördes i Europa och vissa

förkom i stora mängder trots att det fanns otillräcklig information om de risker som de kan förorsaka. Det fanns ett behov att fylla dessa informationsluckor och försäkra sig om att industrin är kapabel att bedöma riskerna samt att vidta de åtgärder som fordras för att skydda människa och miljö.

REACH har dock skapat problem för industrin bland annat när det gäller kommunikation och överenskommelser mellan företagen kring fördelningen av kostnader för registrering av gemensamma ämnen. En registrering kan bli mycket kostsam och hindrar små företag från att lansera nya produkter, något som i värsta fall skulle kunna försvåra utbytet av skadliga produkter mot mer harmlösa, och således motverka intentionen med lagstiftningen. Många problem målas upp för hur REACH-reglerna ska tillämpas. Man vet inte hur "skrivbordsprodukten" ska fungera i praktiken innan man har funnit lämpliga tillvägagångssätt. Denna oro finns också inför den förestående revideringen av REACH år 2012. Med erfarenhet från hur det är att tillämpa dagens regler är förhoppningen att en anpassning till bättre funktionalitet kommer att göras.

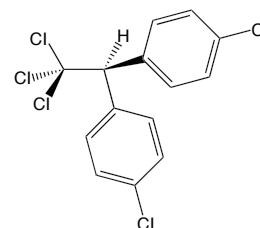
Långlivade problem med miljögifter

Vissa ämnen har egenskaper som gör att de bedöms som särskilt farliga eftersom de kan orsaka betydande miljö- och hälsopåverkan. Hit hör bland annat ämnen som kan ansamlas i människan och i miljön. Dessa så kallade POPs-ämnen (Persistent Organic Pollutants) är långlivade organiska föroreningar som kan ge upphov till effekter som cancer samt reproduktions- och utvecklingsstörningar.

En grupp av sådana ämnen är PCB, polyklorerade bifenyler, som en svensk kemist upptäckte i miljön första gången på 1960-talet i havsörnar. Fyndet skedde av en slump,

DDT (1,1,1-TRIKLOR-2,2-BIS(4-KLORFENYL)ETAN) introducerades under 40-talet och blev ett mycket effektivt vapen mot skadeinsekter. Det användes flitigt på 50- och 60-talet, speciellt i tropiska områden för bekämpning av malariaspridande myggor. Världshälsoorganisationen beräknar att 25 miljoner människoliv räddats genom användning av DDT. Användning av DDT förbjöds på 70-talet i Sverige och många andra länder sedan det upptäckts att medlet orsakat allvarliga skador i naturen.

Exemplet visar att noggranna överväganden krävs när beslut om kemiska produkter tas. Här gäller det att väga fördelar mot nackdelar.



eftersom det inte var känt att PCB kunde läcka ut i naturen – det var inte ämnen som spreds med flit som DDT och andra bekämpningsmedel, utan det användes i elektrisk utrustning och som mjukgörare i plast och i fogmassor. Upptäckten blev startskottet för undersökningar av forskare i andra länder, och PCB visade sig snart vara spritt över i princip hela jorden.

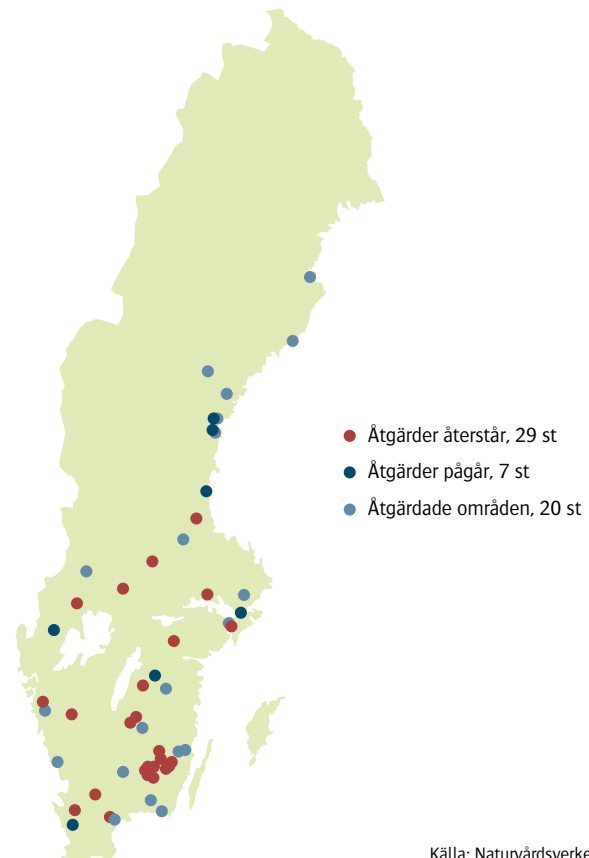
De tolv farligaste föroreningarna kallas ibland "the dirty dozen", och innefattar förutom PCB bland annat DDT och dioxiner. Mycket av arbetet med att reglera de långlivade ämnena har baserats på kemisters förmåga att upptäcka och identifiera ämnena i miljön.

Eftersom det är fråga om farliga ämnen som sprids över hela jorden räcker det inte med regler i Sverige eller inom EU för att skydda vår hälsa och miljö. En internationell konvention förhandlades fram i Stockholm 2001 och trädde i kraft 2004. Stockholmskonventionen har fler än 170 länder som parter och reglerar i dag 21 persistenta organiska miljögifter. Förutom de tolv i "the dirty dozen" som varit reglerade redan från början

ingår sedan 2009 även PFOS (perfluoroktansulfonat), ett ämne som används i en mängd produkter (bland annat textilier och elektronik), flamskyddsmedel vanliga i plaster samt vissa bekämpningsmedel.

Naturen är den bästa giftmakaren

Ofta förknippas farliga ämnen med ”kemikalier”, med vilket brukar avses substanser som människan framställt och använder för olika ändamål, till exempel i industrin. Inte sällan hör man att de ämnen som finns i naturen, producerade av till exempel växter, skulle vara nyttigare eller i varje fall mindre farliga än de konstgjorda kemikalierna. Inget kan vara felaktigare. De giftigaste ämnena vi känner till kommer från naturen, till exempel stryknin (från växtriket), tetrodotoxin (från fisk), nervgiftet botulinustoxin (från en bakterie) och andra neurotoxiner (från till exempel ormar). Många ämnen som vi uppfattar som väldigt giftiga, till exempel cyanväte (HCN) och kolmonoxid (CO) är i själva verket inte så giftiga om man ser till dödlighetsgraden. Kolmonoxid dödar genom att det binder avsevärt starkare än syre till hemoglobin, det protein som står för transporten av syre i blodet. Därmed blockeras syretransporten från lungorna ut till cellerna. Självmord genom kolmonoxidförgiftning i garaget med bilmotorn igång var inte ovanligt förr, men med dagens katalysatorer är kolmonoxidhalten för låg för detta tragiska ändamål. Cyanväte blockerar på liknande sätt cellandningen genom att binda till metallen i enzymet cytokromoxidas, som ingår i cellernas system för energiförsörjning. I båda fallen leder förgiftningen alltså till en form av kvävning, som dock kräver att ganska mycket gift binds in till hemoglobin respektive cytokromoxidas.



Källa: Naturvårdsverket

Många platser där det legat allt från gruvor och metallindustrier till fabriker för träimpregnering är förorenade med giftiga metaller och organiska ämnen. För att minska riskerna måste områdena undersökas och riskbedömas, och de mest förorenade måste saneras. Ofta är det rester från verksamheter som sedan länge är borta, och om ingen ansvarig finns kvar finansieras åtgärderna av staten. År 2010 gick nära 400 miljoner kronor i statliga medel till utredning och sanering. Av de områden som bedöms kunna utgöra en akut risk visar figuren att ungefär hälften var åtgärdade eller på väg att bli det (siffror från 2009). Det finns dock över tusen ytterligare områden där risken bedöms vara mycket hög för hälsa och miljö. Kemiska kunskaper är nödvändiga för att på bästa sätt kunna sanera områdena, där geologi och vattenförhållanden kan vara komplicerade och föroreningarna dessutom kan ha omvandlats kemiskt. Metoder utvecklas för att stabilisera ämnena eller avlägsna dem, genom att tvätta jord med rengöringsmedel, låta bakterier bryta ned organiska föroreningar och binda giftiga metaller i marken.

Hur kommer det sig att de naturliga ämnena är de i särklass farligaste? Frågan är inte enkel att besvara, men en del av förklaringen kan vara att evolutionen under miljoner generationer har lett till en utveckling och utprovning av försvars- eller bekämpningsmedel som riktar sig mot konkurrerande biologiska varelser, det vill säga är anpassade för biologisk bekämpning.

Gifterna i haven – hur farliga är de?

Vissa alger i haven innehåller bland de giftigaste ämnen vi känner till. Sådana marina gifter är orsaken till den massiva fiskdöd som förekommit i alla tider runt om i världen. En av de giftigaste föreningar som hittats i marina organismer är maitotoxin B, som isolerades 1971 från inälvorna hos svart kirurgfisk. Gifterna är stabila och kan följa med i hela näringskedjan, och således utgöra en risk för människor som äter förgiftad fisk eller skaldjur. LD₅₀-dosen är låg, 50 nanogram per kilo. Inte riktigt lika giftigt som botulinustoxinet, men så lite som drygt 1 milligram skulle räcka för att ta livet av 200 personer.

Ett annat potent gift, azaspiracid, har hittats i skaldjur, till exempel musslor. Det produceras av plankton, dinoflagellaterna *Prorocentrum minimum* och *P. crassipes*. Flera allvarliga fall av förgiftningar har förekommit i Europa. De två planktonarterna har observerats i Nordsjön och finns sannolikt även i Kattegatt och Skagerrak. Arterna har även hittats i Öresund som enstaka celler. Övervakning av musselvatten sker av Livsmedelsverket enligt EU:s regelverk och myndigheten ansvarar för öppning och stängning av produktionsområden för musslor.

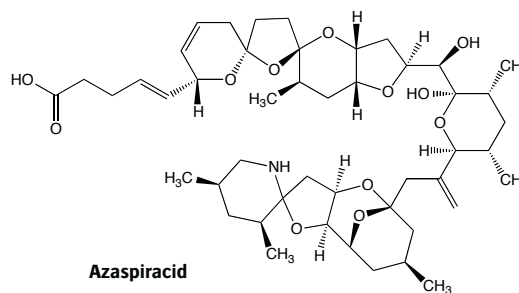
Ciguatoxiner är en annan grupp av marina toxiner, så kallade polyetrar. De bildas av dinoflagellater som är föda för fiskar, som i sin tur vi människor äter. Man räknar med att

VISSTE DU ATT... algblomningar inte är något nytt fenomen. Redan i Andra Moseboken finns effekten av giftiga röda alger beskriven: *Därför säger nu Herren så: Härav skall du förnimma att jag är Herren: se, med staven som jag håller i min hand vill jag slå på vattnet i Nilfloden, och då skall det förvandlas till blod. Och fiskarna i floden skola dö, och floden skall bliva stinkande, så att egyptierna skola vämjäs vid att dricka vatten ifrån floden.*

åtminstone 20 000 personer förgiftas varje år av dessa i subtropiska och tropiska områden.

Hur vet man hur molekylerna ser ut?

Att reda ut strukturen för komplicerade föreningar är ett omfattande detektivarbete. Det går inte att se strukturen i vanliga ljusmikroskop – det skulle krävas så energirik strålning att molekylerna genast skulle sönderfalla. I stället är man hänvisad till en rad indirekta metoder. Det slutgiltiga beviset för att rätt struktur föreslagits får man genom att syntetiskt framställa molekylerna och jämföra egenskaperna hos den syntetiska föreningen med egenskaperna hos den naturliga. Att framställa så komplicerade föreningar som det är fråga



om när det gäller de marina gifterna är ett omfattande arbete som kräver stora resurser vad gäller såväl kunskap som tid och pengar. Maitotoxin har ännu inte framställts syntetiskt. Azaspiracid liksom en liknande förening, brevetoxin B, syntetiserades däremot av en av världens främsta synteskemister, K C Nicolaou, och hans forskargrupp vid Scripps-institutet i Kalifornien. Brevetoxin B är den förening som främst förknippas med ”red tide”, algblomningar med röda alger. Den tog hela tolv år att framställa, men arbetet resulterade också i en stor mängd nya kunskaper som kommer till användning i andra sammanhang.

Naturligt eller onaturligt

Egenskaperna hos kemiska föreningar bestäms av vilka atomer som ingår och hur atomerna sitter ihop. Om föreningen är framställd i naturen eller av människan spelar således ingen som helst roll för egenskaperna. Syntetiskt framställd brevetoxin B är helt enkelt identisk med den brevetoxin B man finner i naturen. Och Nicolaous syntetiskt framställda azaspiracid kan alltså i brist på tillgång till tillräckliga mängder naturligt material användas för att studera föreningens egenskaper och verkningsmekanismer – och göra det möjligt att hitta metoder att behandla den som drabbas av förgiftning.

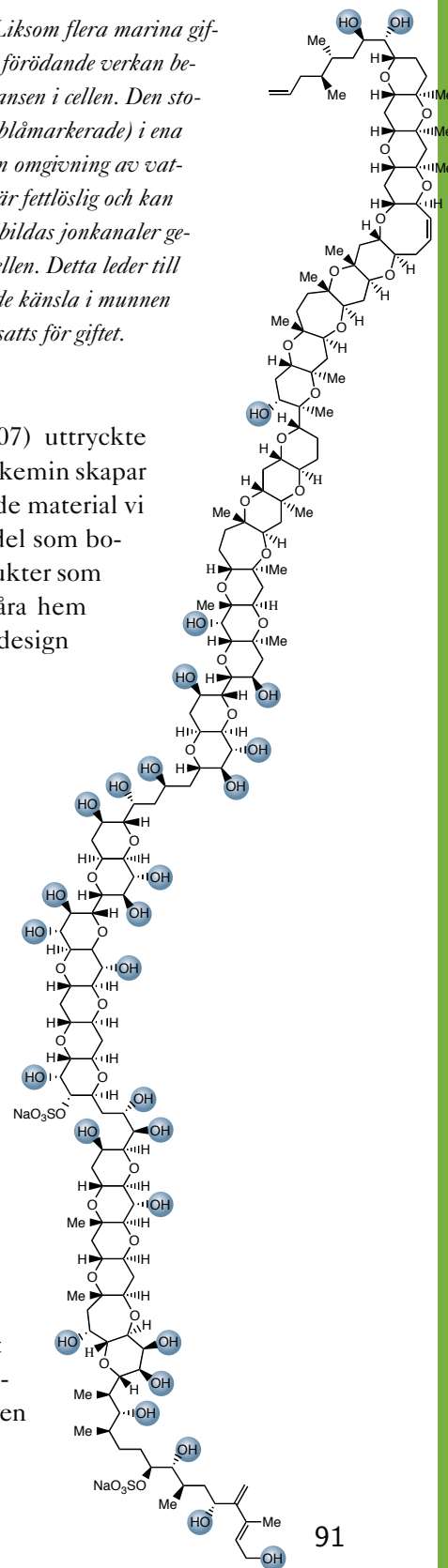
Naturen fungerar ofta som inspirationskälla för synteskemisten när det gäller att framställa föreningar med specifika egenskaper. Det kan gälla allt från verksamma läkemedel till väldoftande parfymer och nedbrytbara plaster. Men genom kemisk syntes är det också möjligt att designa och framställa helt nya strukturer där synteskemisten fungerar som formgivare av tredimensionella molekylära arkitekturer. Den franske kemisten

Hur kan maitotoxin vara så giftigt? Liksom flera marina gifter är maitotoxin ett neurotoxin. Dess förödande verkan beror på förmågan att förändra jonbalansen i cellen. Den stora ansamlingen av hydroxylgrupper (blåmarkerade) i ena halvan av molekylen lämpar sig för en omgivning av vatten. Den andra halvan av molekylen är fettlös och kan tränga in i cellmembranet. På så sätt bildas jonkanaler genom vilka kalciumjoner slussas in i cellen. Detta leder till förgiftningssymptom som en brännande känsla i munnen och utvidgade pupiller för den som utsatts för giften.

Marcellin Berthelot (1827–1907) uttryckte det som *La Chimie crée ses objets*, kemin skapar sina föremål. I själva verket är de material vi dagligen använder, de läkemedel som borrar från sjukdomar och de produkter som hjälper oss att hålla oss och våra hem rena, ofta resultatet av kemisk design och syntes.

Kan man ha någon nytta av de giftiga föreningarna?

Hur underligt det än kan låta, kan många gifter användas för att bota sjukdomar och åkommor. Discodermolid är en så kallad polyketid som hittats i ett marint svampdjur på cirka 30 meters djup i Karibiska havet. Substansen är ytterst giftig, något som svampdjuret utnyttjar för att försvara sig mot fiender – djuret har inte förmågan att fly och måste därför illa fäkta. De toxiska egenskaperna kan man också dra nytta av i behandling av cancer. Substansen har visat sig ge lovande resultat vid behandling av flera olika cancer typer. Discodermolid, liksom en



rad andra substanser som i dag används vid cancerterapi, verkar genom att stabilisera så kallade mikrotubuler, vilka spelar en viktig roll vid celledelning – cancercellerna förhindras att dela sig, vilket leder till att de dör.

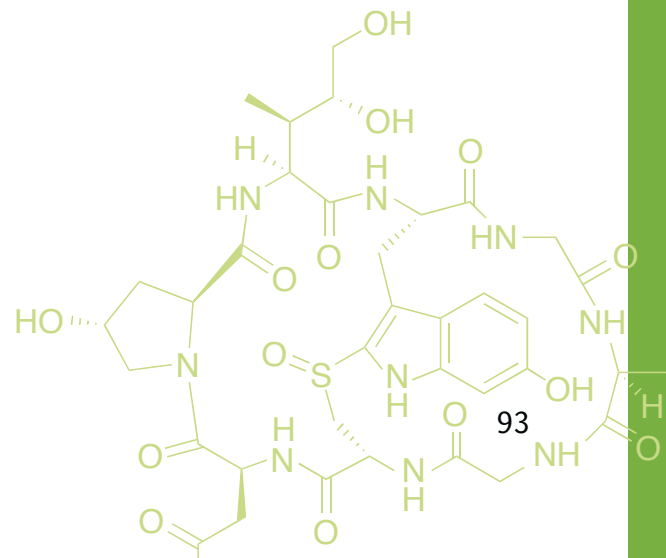
Problemet med discodermolid är att det finns i ytterst små mängder i naturen – 50 kilo svampdjur behövs för att få ett gram av substansen – och det är dessutom obekvämt att ta upp det ur havets djup. Därför tillverkas föreningen syntetiskt, och det är den syntetiska produkten som används vid kliniska studier. Tillverkning i laboratoriet ger också möjlighet att framställa föreningar med besläktad kemisk struktur, som i kliniska studier kan visa sig ha egenskaper som gör dem ännu bättre lämpade som läkemedel än den naturliga förlagan.

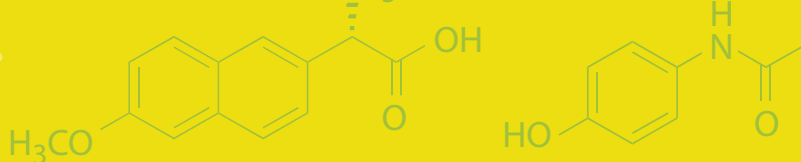
En annan tumörinhibitor, som verkar enligt samma princip som discodermolid, är taxol. Taxol används i dag vid behandling av en rad cancerformer. Dess gynnsamma egenskaper vid behandling av cancerceller upptäcktes i USA redan på sextiotalet i samband med en bred studie av naturprodukter. Taxol kan isoleras ur barken på idegran, men problemet är att växten dör när barken skalas av, och det finns inte tillräckligt med idegranar för att få fram de mängder av taxol som behövs. Taxol kan också framställas syntetiskt, men problemet här är att syntesen är komplicerad och

det skulle bli mycket dyrt och besvärligt att framställa de mängder som krävs. Nu är det sådan tur att den mest komplicerade delen av taxolmolekylen finns i en förening som förekommer i idegranens barr. Barren kan skördas utan att trädet dör och den utvunna föreningen kan kopplas ihop med den del av taxolmolekylen som är syntetiskt framställd – ett gott samarbete mellan naturen och synteskemisten.

Proteiner är naturliga polymerer som är uppbyggda av aminosyror. Proteiner har en mängd livsavgörande funktioner i cellen. Proteinkedjor med mindre än 50 aminosyror kallas peptider och liksom proteiner har de en rad viktiga funktioner i livsprocessen. Bland annat styr de beteenden och överför nervsignaler mellan nervceller. Många orm- och insektsgifter är protein- eller peptidbaserade ämnen. Några av dem framställs syntetiskt och används bland annat för behandling av infektioner. Kemister kan koppla ihop aminosyror i laboratoriet och efterlikna naturliga peptider. De syntetiska peptiderna blir identiska med sina naturliga förlagor. Syntes-tekniken ger fördelar genom att man inte är begränsad till de 21 naturliga aminosyrorna, utan även andra lämpliga besläktade aminosyror kan ingå i den önskade produkten, vilket ökar möjligheterna till förbättrade läkemedelsegenskaper.

- En gemensam europeisk kemikalielagstiftning, REACH, syftar till att öka säkerheten vid hantering av kemiska ämnen. Intentionerna är goda, men reglerna kan vålla problem, speciellt för mindre företag.
- Tack vare säkrare industriella tillverkningsmetoder kan i dag utsläpp av giftiga substanser i naturen minskas.
- De giftigaste substanser vi känner till produceras av naturen.
- Om en förening med en viss struktur är tillverkad i naturen eller i laboratoriet spelar ingen roll – egenskaperna är desamma.
- Naturens giftiga substanser kan ibland tjäna som effektiva läkemedel.



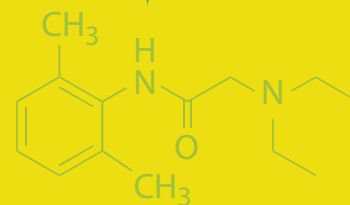
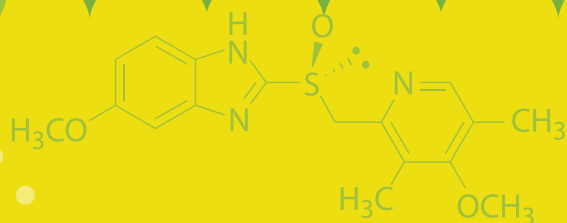


LÄKEMEDEL FÖR ETT BÄTTRE LIV

När du sitter i tandläkarstolen och väntar på en besvärlig lagning kan du med tacksamhet tänka på de svenska kemister vid Stockholms högskola som på 1940-talet upptäckte lidokain, det bedövningsmedel som under decennier använts inom bland annat tandvården. Att tillgång till läkemedel är avgörande för att lindra smärta och behandla sjukdomar är självklart. Att kemister och kemisk kunskap har en avgörande roll när det gäller att förstå sjukdomsmekanismer och kunna erbjuda patienter effektiva läkemedel kanske många däremot inte inser.

Inte bara patienten utan även samhällsekonomin är en vinnare. Den svenska magsårsmedicinen Losec har lett till minskade sjukskrivningar och lägre behandlingskostnader. Att medlet sålts i enorma mängder över hela världen har dessutom inneburit en ekonomisk framgång för svensk läkemedelsindustri och lett till nya investeringar – liksom stora skatteintäkter för samhället. Kemister har dessutom utvecklat en metod för att enbart framställa den ena av de två aktiva molekylerna i Losec, vilket resulterat i uppföljaren Nexium och fortsatt stora vinster i mångmiljardklass.

Att säkra tillgången till framtida behandlingsformer, som förhoppningsvis också kan leda till att sjukdomar botas, kan mycket väl medföra individanpassade läkemedel där patientens genupsättning påverkar valet av terapi. Andra lösningar där kemi har en viktig roll bygger på stamceller som kan ersätta skadad vävnad, nya diagnosmetoder och biomaterial som kroppen accepterar. Viktiga frågor är hur forskningen kan riktas mot de områden där behoven är som störst, och hur kostnaderna för nya behandlingar kan hållas nere utan att det undergräver utvecklingen av läkemedel som är effektiva och har minimal miljöpåverkan.



ATT LÄKEMEDEL SOM lindrar besvär och botar sjukdomar behövs är självklart för alla. För oss i västvärlden är det också självklart att existerande läkemedel finns tillgängliga när de behövs. Fortfarande har dock stora delar av jordens befolkning svårt att få tillgång till verk samma medel mot till exempel livshotande infektioner och cancersjukdomar. Här återstår mycket att göra. Dessutom kommer behoven av nya, effektiva läkemedel att öka i framtiden. Dels vill vi kunna behandla även de sjukdomar vi inte har botemedel mot i dag, dels lever människor allt längre och får fler sjukdomar. Demenssjukdomar och cancer är exempel på sjukdomar som många äldre drabbas av.

Det finns alltså stora behov av nya läkemedel som når fler sjuka människor som önskar leva ett liv i god hälsa. Förutom den rent mänskliga aspekten finns det dessutom en samhällsekonomisk sida av problemet. Samhället sparar stora summor på effektiva läkemedel, eftersom behandlingskostnaderna är små jämfört med kostnaderna för uteblivet arbete och sjukskrivning. Läkemedel kan också minska behoven av dyrbara sjukvårdsresurser.

Att göra det möjligt att ta fram nya och bättre läkemedel som klarar av att bota eller lindra fler svåra sjukdomar är därför en av de största utmaningar som samhället står inför. Det här kapitlet beskriver hur kemister och kemiska kunskaper är avgörande för utveckling och tillverkning av nya läkemedel, liksom nya diagnosverktyg.

Stora framgångar – men problem kvar att lösa

De livsprocesser som styr olika funktioner i våra kroppar består i grund och botten av reaktioner mellan ett stort antal kemiska komponenter i cellerna. Obalanser eller fel i denna livets kemi ger ofta upphov till sjukdomar. Läkemedel innehåller kemiska äm-

nen som kan påverka och ibland korrigera dessa obalanser och fel genom att gripa in i de kemiska reaktioner som inte fungerar som de ska. Kemi och kemister spelar således en avgörande roll vid all läkemedelsutveckling. Fortfarande saknar vi effektiva läkemedel för behandling av många sjukdomar, och vissa läkemedel blir mindre verksamma med tiden.

Infektionssjukdomarna var för inte så länge sedan den främsta orsaken till att människor dog, men med tillgång till antibiotika har infektioner kunnat behandlas framgångsrikt. De mikroorganismer som slås ut med antibiotika har dock blivit allt mer resistent, de har helt enkelt lärt sig att motverka våra antibiotika. Vi står därför inför hotet av fler dödliga infektioner – såvida vi inte upptäcker nya antibiotika. Kemisk kunskap är avgörande för att detta ska lyckas.

Ett exempel är HIV-infektion/AIDS, som för femton år sedan var en dödlig sjukdom men i dag är behandlingsbar. Med hjälp av bromsmediciner kan patienter leva med HIV-infektionen i över tio år utan att AIDS utvecklas. Dock har HIV som orsakar sjukdomen en förmåga att förändra sig genom att mutera, och nya varianter som är resistent mot den tillgängliga medicinen har utvecklats. Återigen, vi måste hela tiden upptäcka nya läkemedel för att behandla denna sjukdom som dödar flera miljoner människor varje år.

Varför är läkemedel så dyra?

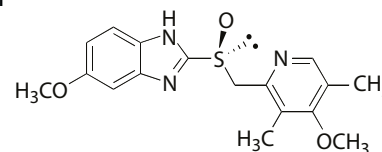
Ett nytt läkemedel är resultatet av en intensiv forskningsprocess, som i normalfallet tar cirka tolv år och kräver en genomsnittlig investering på tio miljarder kronor. Risken att misslyckas är stor och därför stoppas de flesta läkemedelsprojekt i förtid, oftast på grund av att den kemiska substansen som ska bli ett nytt läkemedel visar sig ha för stora biverkningar i förhållande till den uppnådda effekten. Mycket kortfattat går ett nytt läkemedels-

VISSTE DU ATT... den verksamma beståndsdelen omeprazol i Losec är en blandning av två molekyler som är varandras spegelbilder. De är väldigt lika varandra men ändå olika – på samma sätt som en höger- och en vänsterhand är väldigt lika men ändå olika. I Nexium finns bara den ena molekylen, esomeprazol. Den är lika effektiv i alla patienter medan den andra molekylen uppvisar olika effektivitet i olika patientgrupper. Det är inte bara omeprazol som har två olika spegelformer utan de flesta föreningar som används som läkemedel – och för övrigt även andra föreningar. Skillnaden mellan de två spegelformerna kan vara mer dramatisk än i fallet omeprazol – den ena formen kan vara ett verksamt läkemedel medan den andra kan vara ett dödligt gift. Att två spegelformer kan uppföra sig så olika kan man få en uppfattning om genom att stoppa handen i fel handske. Liksom de två händerna passar olika bra i handsken, passar de två molekylerna olika bra in i receptorer i kroppen.

projekt igenom ett antal utvecklingsfaser. Först identifieras ett biologiskt system antingen i kroppen, i en bakterie eller i ett virus, inom vilket man tror sig kunna hitta ett protein som kan fungera som ”måltavla” för läkemedlet. Protein som ska påverkas kan till exempel vara en del av en bakterie eller ett virus, en signalsubstans och dess receptorer eller tillväxtfaktorer som påverkar en viss typ av celler.

Det biologiska systemet studeras i provrörförsök och djurmodeller för att visa om

LOSEC – LÅNG VÄNTAN SOM GAV STOR FRAMGÅNG Läkemedlet Losec minskar produktionen av magsyra och ges tillsammans med antibiotika mot magsårsbakterien *Helicobacter pylori*. Läkemedlet har bidragit till att antalet operationer av blödande magsår minskat med 80 procent i världen. Detta frigör stora resurser inom sjukvården, som i stället kan användas för andra ändamål. Forskarna bakom Losec fick vänta 22 år innan deras initiala idéer hade utvecklats till en produkt som dåvarande Astra kunde lansera 1988. En svårighet var till exempel att den verksamma substansen omeprazol varken tålde ljus, vatten, värme eller magens saltsyra. Kemisterna var tvungna att hitta ett sätt att ”paketera” substansen i flera lager av en skyddande hinna som inte löser upp sig förrän i tarmen. Nexium lanserades år 2000 som en uppföljare till Losec. Långt över en miljard patientbehandlingar har genomförts med de två läkemedlen och försäljningen har lett till ansevärd inkomster för AstraZeneca.



VARFÖR ÄR LÄKEMEDEL EN STARK SVENSK BRANSCH? Vi har en lång tradition av stark svensk medicinsk forskning och en ”infrastruktur” med personnummer och databaser inom sjukvården som underlättar för klinisk forskning. Minst lika viktigt är att även den kemiska forskningen i Sverige ligger långt framme, bland annat vad gäller att utveckla metoder för att kunna tillverka de komplicerade molekyler som ofta behövs i läkemedel.

och hur det är kopplat till sjukdomen. Kunskaperna om olika sjukdomsmekanismer har ökat drastiskt de senaste decennierna, tack vare den pågående kartläggningen av våra gener och de processer som de styr i kroppen. Även om vi nu kan oändligt mycket mer leder all ny kunskap ofta till insikten att biologin bakom sjukdomarna är mer komplex än vi anat – vilket oftast gör att det krävs mer forskning för att förstå det system vi vill påverka.

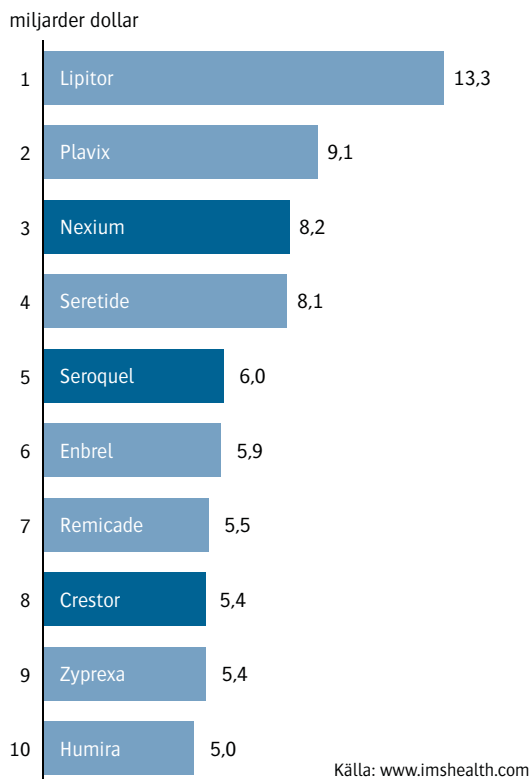
Processen att hitta ett lovande ämne, med de egenskaper som krävs för att det ska kunna bli ett läkemedel, delas in i flera steg. Först identifieras en molekyl som kan påverka det biologiska målet i rätt riktning. Oftast görs detta genom att man undersöker effekten av tusentals olika molekyler. Molekylerna är oftast helsyntetiska, det vill säga tillverkade i laboratoriet. De kan även komma från naturen. Nya metoder och tekniker används för att göra forskningsprocessen effektiv, till exempel automatiserad tillverkning och testning av många olika varianter av molekyler.

Nästa steg är att optimera fram en läkemedelskandidat som är effektiv och tillräckligt säker för att i nästa steg kunna gå vidare till försök på människa. Här är kemiskt kunnande avgörande, och den ovan beskrivna prekliniska läkemedelsforskningen äger rum i samarbete mellan kemister och biologer. I de efterföljande kliniska studierna av den aktiva molekylen undersöks dess effekt och eventuella biverkningar i friska försökspersoner och i patienter.

När en läkemedelskandidat sedan blivit vald måste en process utarbetas för att tillverka molekylen i kommersiell skala. Efter som läkemedelsmolekylerna är komplicerade krävs vanligen flera reaktionssteg för att bygga upp den aktiva substansen. Den tillverkningsmetod som använts i laboratorieskala är oftast inte lämplig för en storskalig process – kemiskt nytänkande krävs. I vissa fall kan den önskade substansen isoleras från en naturlig källa. Kemisk kunskap får här stor betydelse genom att skapa lämpliga metoder för analys och isolering av den aktiva substansen.

Parallellt med detta pågår arbete med att hitta en beredningsform som är medicinskt lämplig och som fungerar för patienten. Den ska garantera att ämnet tas upp i kroppen, till exempel via mag-tarmkanalen, och nå det

De tio största läkemedlen i världen 2009

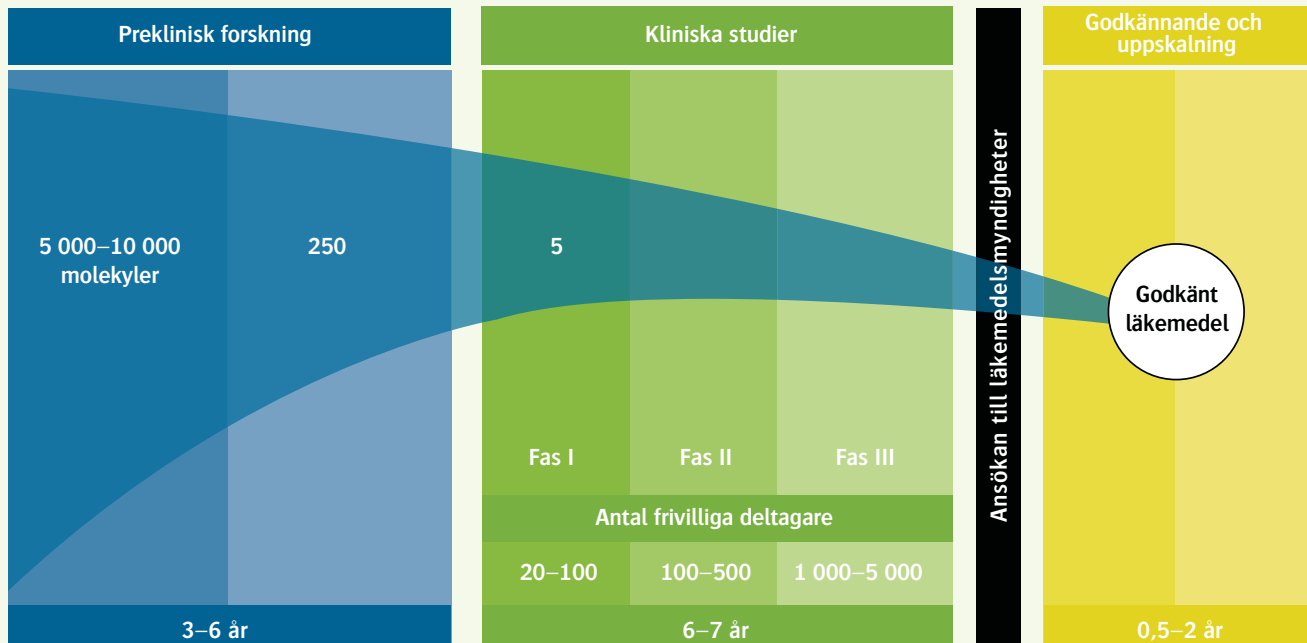


Nexium, Seroquel och Crestor från svensk-brittiska AstraZeneca fanns på topplistan över världens mest sålda läkemedel 2009.

biologiska målet utan att brytas ned i förtid. Helst vill man kunna ge det nya läkemedlet i en tablett eller kapsel som sväljs, men ibland krävs mer komplicerade beredningsformer som till exempel inandning av ett finfördelat pulver.

Om de kliniska studierna indikerar att det nya läkemedlet är effektivt och säkert, och när utvecklingen av lämplig produktionsmetod och beredningsform är klar, lämnas en ansökan in till läkemedelsmyndigheter som bedömer om läkemedlet kan godkännas för försäljning. I Sverige görs detta av Läke-

Lång väg till färdigt läkemedel



► I den prekliniska forskningen tas läkemedelskandidater fram som visar sig ha effekt på den valda biologiska "måltavlan" i form av ett protein som ska påverkas. Många tusen möjliga molekyler testas och bland dessa väljs de mest lovande ut. Utifrån dessa byggs sedan ett antal molekyler upp och testas för att maximera önskad effekt och minimera biverkningar.

► De optimerade molekylernas effektivitet och säkerhet testas i kliniska studier.

FAS I: görs på friska frivilliga personer för att säkerställa att medicinen är säker och för att bestämma en lämplig dos.

FAS II: testar medicinen på patienter för att bedöma om den har en effekt och om den ger upphov till biverkningar.

FAS III: är mycket kostsam men ger det viktigaste beviset på behandlingens effektivitet och säkerhet. Läkemedlet ges till ett stort antal patienter och det jämförs med sockerpiller, så kallad placebo, och eventuella liknande läkemedel som redan finns på marknaden.

► Analysen av de kliniska studierna kan visa på för svag effekt eller oönskade biverkningar, och leda till att projektet avbryts. Ser däremot allt bra ut lämnas en ansökan om registrering av det nya läkemedlet till ansvariga myndigheter.

► Granskningen av den omfattande dokumentationen tar ofta mer än ett år. Parallellt med de kliniska studierna har tillverkningsmetoder och beredningsform för läkemedlet utvecklats. Nu slutförs den sista uppskalningen till storskalig produktion.

medelsverket. Väl ute på marknaden fortsätter undersökningarna av läkemedlet, för att studera långsiktiga effekter och hälsoekonomiska aspekter.

Måste läkemedel ha biverkningar?

Målet är självklart att utveckla ett läkemedel som bara påverkar målproteinet i kroppen och inte leder till biverkningar. Det är dock svårt, eftersom en molekyl inte kan uteslutas ha effekter även på andra proteiner. Helt biverkningsfria läkemedel ligger därför i en utopisk framtid då forskningen kommit betydligt längre än i dag. Att genomgå en behandling utgör alltså en risk i form av biverkningar som måste relateras till den nytta läkemedlet gör.

Den som behandlas för ett livshotande tillstånd är naturligtvis beredd att ta större risker än den som har drabbats av en förkylning. Vi kan dock konstatera att utvecklingen redan nu går mot säkrare läkemedel med färre biverkningar. Den prövningsprocess som nya läkemedel genomgår innan de godkänns utökas hela tiden med nya krav, samtidigt som vi ökar vår kunskap om vilka biverkningar som befintliga läkemedel ger, ensamma eller i kombination med andra.

Alla biverkningar av läkemedel måste rapporteras till de statliga läkemedelsmyndigheterna. Därför kan information om biverkningar spridas fort, och farliga läkemedel kan stoppas snabbare än tidigare. Biverkningar kan yttra sig på många olika sätt, från lätt klåda till att läkemedlet är cancerframkallande. Dessutom kan de vara individuella; den biverkan som drabbar den ene behöver inte alltid drabba den andre. En specifik biverkan kan också uppfattas och därmed tolereras helt olika av olika individer. I dag finns det

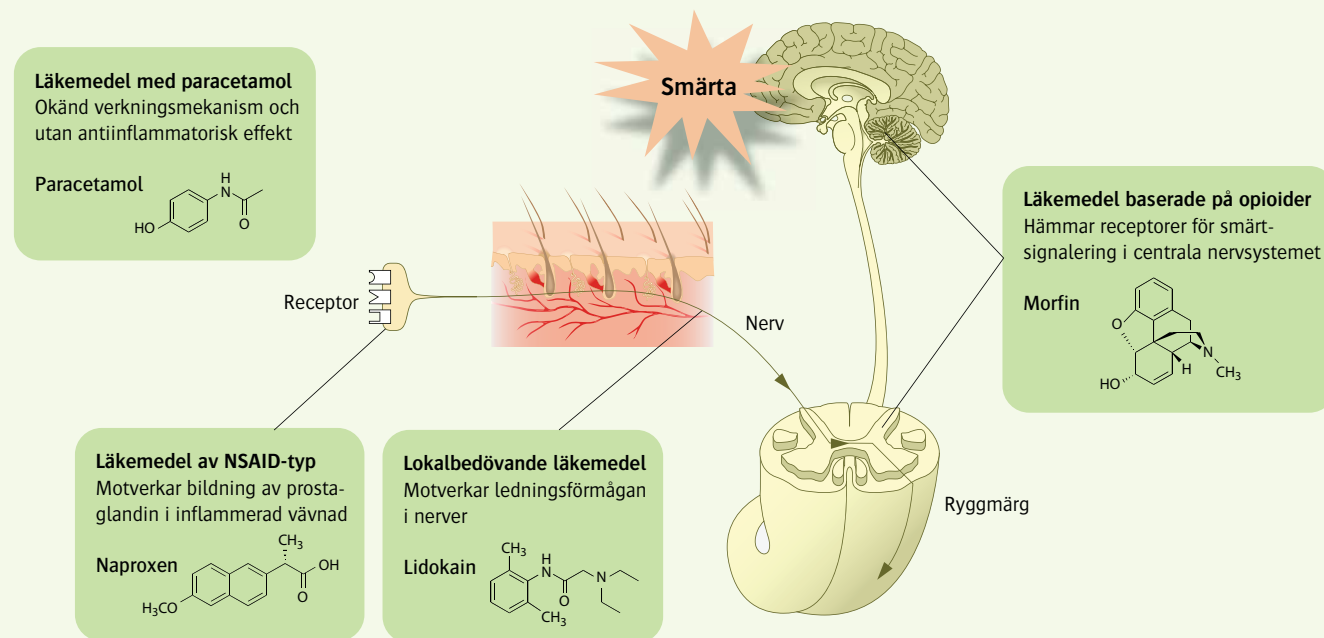
LÄKEMEDEL OCH PATENT De stora investeringarna som krävs för att ta fram nya läkemedel gör att patentskydd är avgörande för att utvecklingen ska vara lönsam. Skyddet stoppar inte andra aktörer från att utveckla läkemedel mot samma sjukdom, utan hindrar bara tillverkning och försäljning av det patenterade läkemedlet. Patentansökan för den grundläggande aktiva ingrediens som är tänkt att användas i ett läkemedel sker i allmänhet i början av den långa utvecklingsprocessen. I det fortsatta arbetet kan även andra innovationer och upptäckter patenteras, till exempel tillverkningsmetoder och beredningsformer. En enda produkt kan alltså skyddas av flera olika patent. Ett patent gäller i 20 år, men eftersom det tar så lång tid att få ut läkemedlet på marknaden är det effektiva skyddet ofta omkring 10 år. Läkemedel kan beviljas ett tilläggs-skydd i upp till 5 år om det till exempel får en ny beredningsform.

AUTOMATISERADE TEKNIKER FÖR ATT HITTA RÄTT MOLEKYL

I jakten på lämpliga molekyler för nya läkemedel utnyttjar läkemedelskemister allt mer olika automatiserade tekniker. I stället för att tillverka en molekyl i taget används så kallad kombinatorisk kemi, där en rad kemiska byggstenar kombineras på olika sätt och ger ett mycket stort antal unika molekyler som samlas i kemiska bibliotek. För att sedan avgöra vilka som är intressanta som kemiska startpunkter för läkemedelsutveckling används tekniken High Throughput Screening (HTS). Med hjälp av automatiserad testning och databehandling gör den att det i vissa fall går att utvärdera hur 100 000 molekyler per dag påverkar till exempel receptorer eller proteiner som kan vara mål för ett nytt läkemedel. Egenskaperna hos de molekyler som visar sig ha effekt ur olika aspekter jämförs och blir en startpunkt för att på kemisk väg utforma den slutliga aktiva substansen som går vidare till kliniska studier.

ofta flera läkemedel baserade på olika aktiva substanser för behandling av samma åkomma. Ett exempel är högt blodtryck, där det är möjligt för läkare att i samråd med patienten välja det läkemedel som bedöms fungera bäst i det aktuella fallet.

Ofta kan sjukdomar och andra komplikationer behandlas på flera sätt och på olika ställen i kroppen. Att förstå de samverkande biokemiska mekanismerna är ofta avgörande för utvecklingen av effektiva läkemedel. Ett exempel är smärta. Ämnen som bildas i skadad vävnad eller vid en infektion fångas in av receptorer, som skickar nervsignaler till ryggmärgen och vidare till hjärnan – där vi upplever smärtan.



Two vanliga läkemedel mot smärta är NSAID-preparat som verkar antiinflammatoriskt och paracetamol som har en okänd verkningsmekanism. Naproxen och ibuprofen är exempel på NSAID-molekyler som påverkar de enzymer som bildar prostaglandin, ett av de smärteframkallande ämnena. Läkemedel med lidokain och andra lokalbedövande molekyler stoppar istället nervimpulserna från att nå hjärnan, genom att blockera transporten av natriumjoner till nervcellerna. Morfin och andra opioider påverkar receptorer i centrala nervsystemet och minskar därmed smärtupplevelsen.

Individanpassade läkemedel – effektiva men dyra

Det är inte bara biverkningar av ett läkemedel som är olika från person till person. Även den tänkta medicinska effekten kan, beroende på våra arvsanlag, skilja mellan olika individer. De stora framsteg som gjorts inom genteknologi innebär att det nu är möjligt

att bestämma specifika skillnader i vår genuppsättning, och därmed avgöra om ett visst läkemedel är lämpligt för behandling av en viss individ eller inte. Ett exempel är bröstcancermedicinen Herceptin som bara fungerar på de 20 procent av patienterna som har en viss genetisk uppsättning. I denna patientgrupp är dock medlet effektivt – tumören kan

stoppas, krympa och till och med helt försvinna. Ett annat exempel är Glivec som används vid behandling av speciella typer av leukemi och magcancer. Genom att från början undersöka om förutsättningarna för behandlingen är goda sparas tid och pengar, och de individer som behandlingen inte passar för kan direkt ordinerar andra läkemedel.

Fler läkemedel av denna individanpassade typ är på väg ut på marknaden, och det är tänkbart att patienters genetiska bakgrund i framtiden rutinemässigt kommer att bedömas vid val av läkemedel. Det ger ett säkrare svar än det läkaren i dag kan få när han eller hon förhör sig om i fall patienten eller någon annan i familjen är allergisk mot ett läkemedel eller har haft andra svårigheter med det, vilket kan visa på en viss genetisk uppsättning.

För samhället är individanpassade läkemedel ett tveeggat svärd. Det positiva är att de selekterade patienterna kan få en effektiv behandling, samtidigt som färre drabbas av biverkningar. Men det är som sagt bara en del av patientgruppen som kommer att använda läkemedlet. Utvecklingskostnaden för ett nytt läkemedel är dock densamma, oberoende av hur många patienter som sedan använder det. Individanpassade läkemedel kommer alltså generellt att bli dyrare än de traditionella. En behandling med Herceptin beräknas till exempel kosta flera hundra tusen kronor. Det väcker frågan om det finns en gräns för hur mycket ett läkemedel får kosta. För de berörda patienterna står i alla fall ett säkrare och mer effektivt läkemedel absolut högst upp på önskelistan.

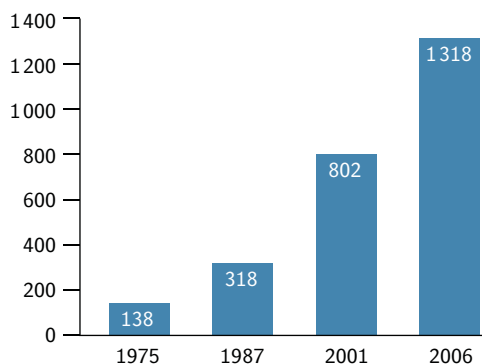
Ökande intresse för miljöeffekter av läkemedel

Allt fler läkemedel hittas i våra vattendrag. Huvudsakligen sprids de genom att patienter utsöndrar dem, men de kan även komma ut

SÄRLÄKEMEDEL MOT OVANLIGA SJUKDOMAR För vissa allvarliga men sällsynta sjukdomar gör det begränsade underlaget av patienter att det inte är lönsamt att utveckla läkemedel inom området. Även om den typen av sjukdomar är ovanliga drabbar de sammanlagt många. Bara inom EU är 25 miljoner invånare drabbade av 5 000 olika sällsynta sjukdomar. För att därför se till att läkemedel ändå kommer fram kan de ges status som så kallade särsläkemedel ("orphan drugs" på engelska). För att bli klassat som särsläkemedel inom EU måste sjukdomen som det ska behandla förekomma hos högst 0,05 procent av befolkningen, och det måste saknas en tillfredsställande behandling eller så måste det nya läkemedlet innebära en betydande fördel. I EU beviljas status som särsläkemedel av den europeiska läkemedelsmyndigheten EMA, vilket innebär att den som utvecklar läkemedlet får hjälp med design av patientstudier, nedsatt ansökningsavgift till EMA och ensamrätt på marknaden i tio år efter godkännande för försäljning. Ett svenskt exempel på särsläkemedel är Orfadin som används för behandling av here-ditär tyrosinemi typ 1, som är en ärftlig ämnesomsättningssjukdom.

Forsknings- och utvecklingskostnaden för ett nytt läkemedel

miljoner dollar



Kostnaderna för att utveckla ett nytt läkemedel har stigit kraftigt de senaste decennierna.

Källa: J.A. DiMasi and H.G. Grabowski, The cost of biopharmaceutical R&D: Is biotech different? Managerial and decision economics 28 (2007): 469–479

i miljön i samband med tillverkningen. Det senare har bland annat rapporterats av svenska forskare som upptäckt höga halter av till exempel antibiotika i vattendrag i Indien, vilket befaras kunna leda till ökad antibiotika-

resistens. Nyheten har ökat debatten kring läkemedels miljöpåverkan.

Universitetsforskare och myndigheter undersöker om läkemedel förekommer i så höga halter att det påverkar den svenska miljön negativt, bland annat inom forskningsprogrammet MistraPharma. De kommunala reningsverken minskar mängderna av olika läkemedel, men många finns ändå kvar i det renade avloppsvattnet och spår av dem hittas även i dricksvatten. Kunskapen om långtidseffekter på vattenlevande organismer av läkemedelsrester är bristfällig, men flera forskningsprojekt pågår.

Att tänka ”grönt” inom läkemedelsbranschen har blivit allt viktigare vid utveckling av nya läkemedel och tillverkningsmetoder. Att offentliggöra uppgifter om läkemedels miljöaspekter, det vill säga hur de uppför sig när de hamnar i miljön, kan ge underlag för läkare och patienter att väga in miljöpåverkan när de väljer mellan olika produkter inom samma läkemedelskategori. Ett viktigt steg i denna riktning är att alla data som tas fram vid miljöriskbedömningen inför registrering av ett nytt läkemedel nu finns tillgängliga och klassificerade på www.fass.se, något som skett på initiativ av LIF, branschorganisationen för de forskande läkemedelsföretagen.

Utifrån miljöinformationen på fass.se har Stockholms läns landsting (SLL) publicerat ”Miljöklassificerade läkemedel” som på ett överskådligt sätt gör det möjligt för läkare att beakta olika läkemedels eventuella miljöpåverkan. SLL ger även ut ”Kloka listan” med rekommenderade läkemedel vid vanliga sjukdomar. När läkemedlen har likvärdig medicinsk effekt och säkerhet beaktas pris och miljöpåverkan.

På sikt kan det också bli möjligt att väga in miljöaspekter vid utformningen av den aktiva substans som ska ingå i ett läkemedel. Genom att till exempel utforma molekylen så att

MILJÖKRAV PÅ LÄKEMEDEL Flera initiativ tas nu för att se över läkemedels miljöpåverkan. Socialstyrelsen samordnar arbetet med en nationell läkemedelsstrategi, där ett av målen är minimal miljöpåverkan. Läkemedelsverket har tidigare utrett möjligheterna att skärpa miljökraven vid tillverkningen. Huvudförslaget är att lagstiftningen inom EU om god tillverkningsssed (GMP) även bör inkludera miljöhänsyn. Andra förslag är att EU-lagstiftningen för godkännande av läkemedel även bör inkludera en miljöriskbedömning i den risk/nytta-värdering som görs, liksom att läkemedelsförmånssystemet på nationell nivå bör ses över för att inte motverka frivilliga miljöåtgärder inom industrin.

.....

MISTRAPHARMA Forskningsprogrammet MistraPharma ska identifiera läkemedelssubstanser som utgör en betydande risk för vattenlevande organismer. Programmet kommer att undersöka samtliga 1 200 läkemedelssubstanser som finns tillgängliga på den svenska marknaden för att identifiera dem som har störst potential att orsaka skador i vattenmiljön. Projektet studerar också hur effektiva befintliga reningstekniker i avloppsreningsverk är och hur de kan utvecklas för att rena bort läkemedelsrester. Programmet finansieras av forskningsstiftelsen Mistra.

.....

den bryts ned snabbt i naturen kan de eventuella miljöeffekterna minimeras.

Ett intensivt arbete och diskussioner mellan forskare, myndigheter och läkemedelsföretag pågår för att förstå eventuella effekter av läkemedel i miljön och vilka åtgärder samhället bör och kan vidta. Sverige har redan en framträdande roll på detta område och kan med fortsatta insatser bidra till att kunskaperna sprids inom såväl EU som övriga världen.

Tidigare upptäckt av sjukdomar viktig

Våra läkemedel blir hela tiden bättre, eftersom vi kontinuerligt lär oss mer om den biologi och kemi som orsakar en sjukdom och om hur vi kan påverka den. Behandlingsresultaten

förbättras dessutom av att vi utvecklar nya diagnostiska metoder som gör det möjligt att tidigare upptäcka olika sjukdomar. Kemin är viktig både för att identifiera olika biomarkörer för sjukdomar och för att utveckla känsliga analysmetoder som kan upptäcka dessa i låga koncentrationer på ett tillförlitligt sätt.

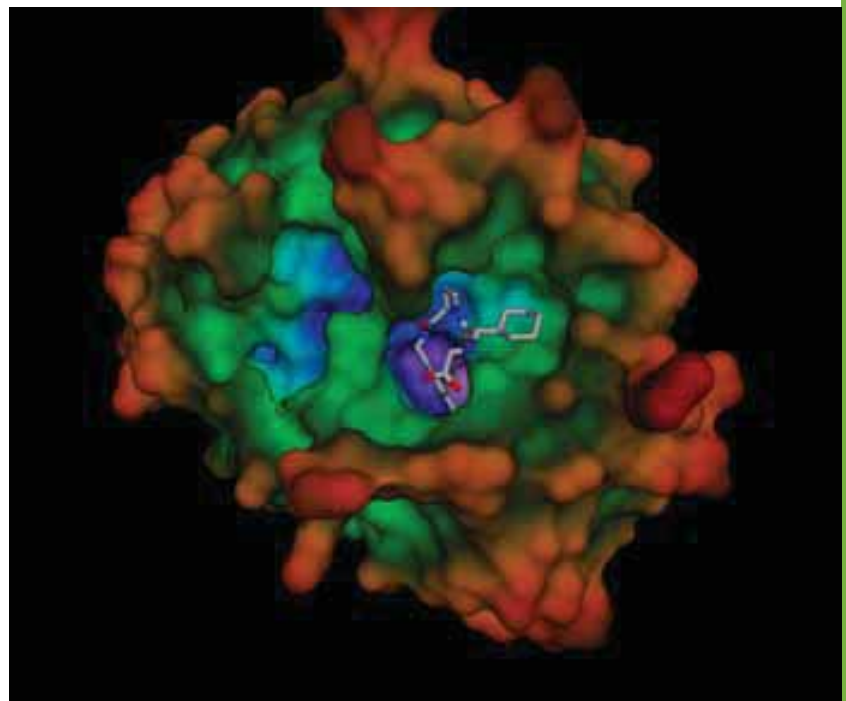
För att upptäcka en sjukdom och kunna sätta in rätt behandling använder sjukvården diverse bildmedicinska tekniker (röntgen, ultraljud, magnetisk resonans, nukleärmedicin), elektriska mätningar (EKG och EEG) och olika medicinsk-kemiska analyser av blodprover. Kemin spelar en central roll i många av dessa tekniker. Många laboratorieanalyser bygger på att ett tillsatt ämne binds till olika biologiska molekyler hos blod eller andra prov från patienten. Bindningen ger upphov till en färgförändring i provet som kan avläsas. Även molekyler som används som kontrastmedel för röntgen och magnetisk resonans, liksom sådana som är bärare av radioaktiva isotoper, är viktiga kemiska produkter i medicinens tjänst.

Vikten av tidig upptäckt är oerhört stor, inte bara när det gäller tumörsjukdomar. Sjukdomar som Parkinsons och Alzheimers har till exempel härjat i hjärnan i 5–10 år innan de första symptomen blir uppenbara. Möjligheten att få en diagnos tidigare än vad som är möjligt i dag förbättrar naturligtvis chanserna att få en framgångsrik behandling, eftersom färre nervceller hunnit skadas och dö.

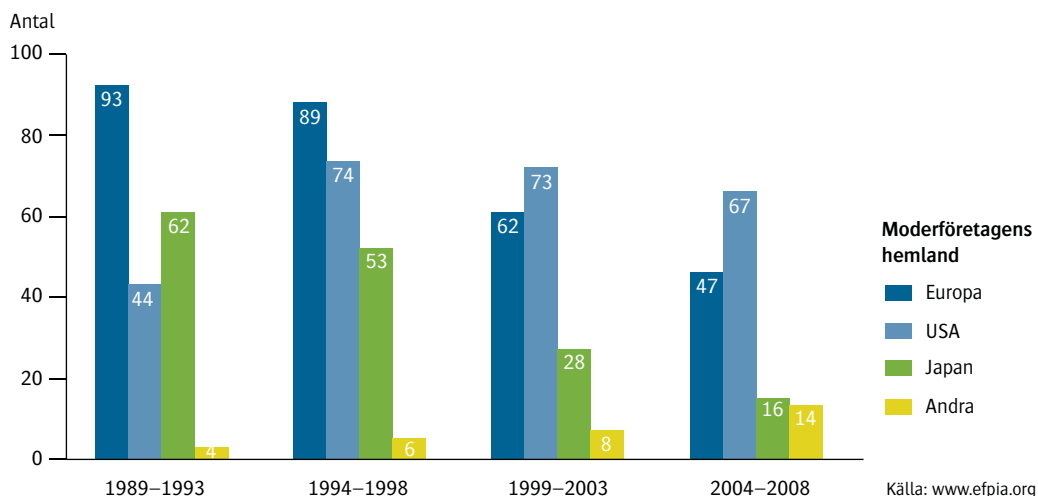
Globalt är kanske den största vinsten med bättre diagnosmetoder möjligheten att ta krafttag i kampen mot olika infektionssjukdomar. Totalt beräknas över 30 miljoner människor leva med HIV, men bara en tiondel av dessa vet om det. På samma sätt får endast ett fåtal av de åtta miljoner som smittas av TBC årligen en diagnos. Att på ett snabbt, enkelt och billigt sätt kunna hitta de människor som är infekterade av olika all-

KEMISK SYNTESKONST – EN VIKTIG DEL I UTVECKLINGEN AV NYA LÄKEMEDEL Kemiskt kunnande är avgörande för att lyckas ta fram en aktiv molekyl som är lämplig som läkemedel. Det är inte bara den önskade biologiska effekten i sig som är viktig. När molekylen utformas måste kemisterna bland annat väga in selektivitet för det målprotein läkemedlet ska påverka, biverkningar och toxicitet av flera slag, hur molekylen bryts ned i kroppen, möjligheter att tillverka den och en lämplig beredningsform samt huruvida molekylen är patenterbar. Att förstå och kunna hantera dessa komplexa avvägningar i utformningen av molekylen är ofta den avgörande utmaningen i processen med att ta en medicinsk idé fram till ett fungerande läkemedel som är både effektivt och säkert.

Att utifrån enkla lättillgängliga substanser bygga upp den önskade molekylen är en molekyllär byggprocess som benämns organisk syntes och är en central del av kemivetenskapen. Det gäller att finna enkla, miljöanpassade och selektiva syntesmetoder som ger den önskade substansen i sin aktiva form. Synteskonsten har under senare år genomgått en stark utveckling, framför allt tack vare grundläggande forskning vid akademiska laboratorier. Många av Nobelprisen i kemi har delats ut för forskningsinsatser inom den syntetiska kemin.



Antal introducerade nya substanser (NCE:er) i världen



Allt färre läkemedel baserade på helt nya molekyler når marknaden. Orsaken är de ansevärd vetenskapliga och ekonomiska utmaningarna forskare ställs inför när det gäller att ta fram nya läkemedel.

varliga sjukdomar är avgörande för att både begränsa smittspridningen och kunna behandla sjukdomarna.

Många sjukdomstillstånd har genetiska orsaker, vilket kräver DNA-analys. I de fall det är fel på en enskild "bokstav" i den genetiska koden, som till exempel vid sjukdomen cystisk fibros, är en analys av hela den omfattande DNA-sekvensen inte praktisk, utan en snabbare och mer direkt teknik behövs. Ett test som svenska forskare varit med om att utveckla bygger på att man mäter hur patientens DNA binder till en konstgjord DNA-liknande molekyl som tillverkas med den korrekta bokstavssekvensen. Om det är fel på en bokstav i patientens DNA blir bindningen svagare än om alla är rätt, vilket man avläser med hjälp av molekylernas vandringshastighet i ett elektriskt fält, så kallad elektrofores.

Elektrofores är en svensk uppfinning för vilken kemisten Arne Tiselius belönades med Nobelpris i kemi 1948. Den är fortfarande ett av de viktigaste diagnostiska verktygen inom medicinen, bland annat för ana-

lys av proteiner samt för bestämningen av DNA-sekvenser. Enligt amerikanska analysföretag är det inom kort möjligt att få sekvensen på hela sitt DNA bestämt på mindre än en vecka för mindre än tusen dollar.

Vilka är framtidens läkemedel?

Även om det finns många exempel på framgångsrika läkemedel ska vi samtidigt inte blunda för att det i dag ofta är svårt att återställa patienter till full hälsa. I de flesta fallen lindrar behandlingen bara symptomen och saktar ned sjukdomsförloppet. Ett undantag är bakteriella infektioner. När rätt antibiotikum används blir patienten av med infektionen och löper i fortsättningen inte större risk än de som aldrig haft infektionen att bli sjuk igen.

I framtiden kan vi förvänta oss att vi kommer att få fler läkemedel som hjälper sjuka människor ännu bättre. Morgondagens läkemedel kommer förhoppningsvis även att vara individanpassade och därmed effektivare och mindre benägna att ge biverkningar.

Stamceller är ett spännande forskningsfält som många förväntar sig ska revolutionera behandlingen av olika sjukdomar. Det lockande är stamcellernas förmåga att utvecklas till alla de olika typer av celler vi har i våra kroppar. Att odla stamceller är i dag rutinarbete och att bygga upp vävnader och till och med hela organ ter sig allt mer möjligt.

Redan i dag används stamceller för att bland annat ersätta hud vid allvarliga brännskador. För att stamcellsforskningen ska ge medicinsk nytta krävs dock en fördjupad förståelse av cellens kemi, liksom av hur de läkemedel vi använder för att undvika bortstötning vid transplantationer fungerar.

Ett annat intressant forskningsfält handlar om att utveckla genläkemedel. Gener i vår arvs massa anger koden för tillverkning av specifika proteiner, och en störning i den funktionen kan leda till olika sjukdomar. Så kallad genterapi innebär att ett kemiskt ämne designas för att söka upp och blockera en viss gen eller del av denna. Det kan handla om en konstgjord molekyl som liknar DNA. Molekylen förses med samma kodbokstäver (baser) som DNA och kan fås att specifikt binda till genen man vill behandla för att hindra att proteinet som genen uttrycker bildas.

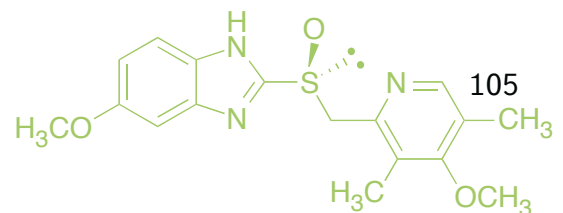
En annan strategi kallas RNA-interferens. I kroppen förs koden från en gen i DNA över till en sträng med rätt kombination av bokstäver/baser kallad RNA, som i sin tur styr tillverkningen av ett protein. RNA-interferens innebär att man tillsätter en kort RNA-molekyl med en sekvens som motsvarar den gen man vill blockera. Via flera omvandlingssteg stoppas då kroppens eget RNA från att styra tillverkningen av proteinet. Upptäckten av RNA-interferens belönades 2006 med Nobelpris i medicin.

Framtidens läkemedel kan också komma från genkorrektions terapi, det vill säga teknik

VÄRDEFULL BRANSCH BYGGD PÅ KUNSKAP Läkemedelsindustrin är viktig för svensk tillväxt och arbetsmarknaden för högutbildade. Värdet av läkemedelsexporten uppgick till 68 miljarder kronor 2009 och stärkte kraftigt den svenska handelsbalansen. Av de anställda inom läkemedelsindustrin arbetar en stor del med forskning och utveckling. Det gör den till en av de största arbetsgivarna för högutbildade, med nära en femtedel av alla disputerade forskare inom näringslivet.

för att rätta till genetiska fel. Den bygger på genläkemedel som utnyttjar en typ av proteiner i kroppen som specifikt binder till DNA. Läkemedlet är en stor molekyl som består av dessa proteiner samt en DNA-klyvande funktion. Det binder till den skadade genen och klipper av den på rätt ställe. Samtidigt tillsätts ett överskott korta DNA-molekyler som har den rätta DNA-sekvensen. Cellens eget reparationsmaskineri ser till att den korrekta genen "klistras in". Metoden är förbluffande effektiv och används redan med framgång i kliniska studier för behandling av bland annat HIV, vissa diabetesföljdsjukdomar, hjärntumör och blodarsjuka.

Förhoppningar finns att nya läkemedel på sikt ska förvandla dagens dödliga sjukdomar till behandlingsbara kroniska sjukdomar – en utveckling som följer den vi redan sett med vissa tumörsjukdomar och AIDS. Vi kan konstatera att utvecklingen av framtidens läkemedel fortsätter att vara resultatet av ett samspel mellan en rad olika vetenskapsområden – farmakologi, fysiologi, toxikologi, farmaci och inte minst kemi. Faktum är att såväl utformningen av den aktiva bestånds delen som tillverkningen av densamma bygger på kemi i olika former. Behovet av kemikompetens inom läkemedelsindustrin kommer alltid att vara stort och centralt.



Vilka är läkemedelsindustrins utmaningar?

Läkemedelsindustrin genomgår i dag stora förändringar, som drivs av de ekonomiska realiteterna som industrin ställs inför. För närvarande skärs forskningsresurserna ned drastiskt, inte bara i Sverige. Globalt förlorade 26 000 forskare inom branschen sina arbeten under 2009. Samtidigt är den grundläggande prekliniska forskningen inte så stark och framgångsrik som tidigare hos de stora läkemedelsföretagen. Den har till en del flyttat till små bioteknikbolag, akademiska laboratorier och statliga forskningsinstitut. Förhoppningarna är att de ska utveckla substanser som är kandidater för nya läkemedel, varefter de stora företagen med tillräckliga resurser för den fortsatta utvecklingen tar över.

I USA har National Institutes of Health (NIH), som är världens största statliga finansierare av medicinsk forskning, sedan flera år tillbaka vetenskapliga program som syftar till att ta fram läkemedel med nya verkningsmekanismer. Tanken är att dessa patentskyddade nya läkemedelskandidater ska auktioneras ut, så att de stora läkemedelsbolagen köper dem på samma sätt som de köper nya läkemedelskandidater från akademiska institutioner och mindre bioteknikbolag. Om strategin lyckas vet vi först om 5–10 år, eftersom utvecklingen av ett läkemedel är så tidskrävande.

Hur kan forskningen riktas mot områden där den gör mest nytta?

Myndighetsfinansierad forskning är viktig för samhället, i och med att den möjliggör en bredare upplagd grundforskning där även sjukdomar som för tillfället är mindre intressanta för läkemedelsindustrin studeras. Som exempel kan nämnas att företagets intresse för att utveckla medel mot cancer var relativt svagt på 1980-talet – området bedömdes

MOLEKYLÄRA ROBOTAR I MEDICINENS TJÄNST? Läkemedel inneslutna i små magnetiska kapslar som med ett yttre magnetfält kan dirigeras till en viss kroppsdel eller koncentreras till något organ för att till exempel behandla cancer. Eller ämnen som "bogserar" läkemedelsmolekyler in i de celler som utgör deras mål. Det är några innovativa lösningar som redan i dag finns för att behandla olika sjukdomar. Inom nanotekniken pågår utveckling av molekyllära motorer och molekyllär elektronik, där DNA-molekylen själv kan användas som byggsten (se sidan 55). Endast fantasin sätter här gränsen – till exempel skulle de kunna användas till att inifrån blodkärl utföra operationer på cellnivå för att döda cancerceller.



vara för svårt och framför allt ur markandsföringssynpunkt alltför splittrat. Man anade inte att exempelvis leukemi, bröst- och bencancer hade så många gemensamma drag på cellulär och molekyllär nivå. Tjugo års statliga satsningar på grundforskning inom cancerområdet visade att det finns gemensamma mekanismer att angripa. I dag har alla stora läkemedelsbolag flera program för läkemedel mot cancer.

Kampen mot cancersjukdomarna har alltså till stor del blivit möjlig genom offentliga satsningar på grundforskning, som i sin tur varit nödvändig för den utveckling av nya läkemedel som i dag sker i industrin. Ett liknande exempel är hanteringen av risken för världsomfattande epidemier, där utvecklingen av vacciner skett tack vare att myndigheter i olika länder har garanterat utvecklingskostnaderna genom stora inköp av miljontals vaccindoser. På så sätt kan samhället driva på forskning och produktion inom olika konkurrerande bolag.

Både myndigheter och privata stiftelser är viktiga som finansierare av grundforskning inom kemi, biologi och medicin som möjliggör utvecklingen av nya läkemedel mot sjukdomar som till exempel malaria, tuberkulos, influensa och infektioner av multiresistenta bakterier.

- Läkemedel är en stark svensk bransch där kemikunskaper är avgörande för den framtida konkurrenskraften.
- Att ta fram ett nytt läkemedel är en komplicerad process som i genomsnitt tar tolv år och kostar tio miljarder kronor.
- För att framställa de molekyler som är aktiva beståndsdelar i ett läkemedel krävs ofta avancerade tillverkningsmetoder, vilka i sin tur bygger på framgångsrik grundforskning i bland annat organisk kemi.
- En fortsatt läkemedelsutveckling som svarar mot samhällets behov står inför såväl kunskapsmässiga som ekonomiska utmaningar, och kräver gemensamma insatser från näringsliv och offentliga aktörer.
- Framtidens läkemedel, bättre diagnosmetoder och nya behandlingar med bland annat stamceller kan förhoppningsvis erbjuda bot mot fler sjukdomar, samt i högre grad bli individanpassade och innebära mindre risker för miljön.

Kemi behövs för att vi ska förstå vår omvärld, liksom för att ge oss nya material, läkemedel och andra produkter som gör att vi kan fortsätta leva våra liv i välstånd och med god hälsa. Inte minst kan kemi bidra med lösningar i globala frågor med anknytning till klimat, energiförsörjning, livsmedelsproduktion och råvaruförsörjning. Kemins gränslösa möjligheter skiljer sig alltså klart från den allmänna bilden av ämnet, som ofta domineras mer av problem än det faktum att kemi i själva verket kan hjälpa oss möta många utmaningar i samhället.

Kungl. Vetenskapsakademien och Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien ger ut den här boken för att utifrån ett vetenskapligt perspektiv öka kunskapen om kemin och dess möjligheter. Boken tar upp områden som solceller och nya energitekniker, hållbara råvaror, mat och kemi, molekylär elektronik och läkemedel. Grundläggande kunskap om kemi och forskningen inom dessa och många andra områden är nödvändiga inför politiska beslut om viktiga samhällsfrågor, liksom för alla människor som i sitt dagliga liv möter frågor med koppling till kemi.



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

med stöd av



KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN