

A top-down view of a petri dish containing a dark agar medium. Numerous circular colonies of mold are growing, exhibiting a variety of colors including bright green, teal, and white. The colonies vary in size, with some being quite large and others small. The edges of the colonies are often fuzzy or irregular. In the top right corner, there is a short paragraph of text in white, preceded by two small gold-colored geometric shapes (squares with missing corners).

Vikten av fri forskning
och hur värdefulla upp-
täckter kan dyka upp där
ingen hade en aning om
att man skulle leta

DEN OVÄNTADE NYTTAN



REDAKTIONSGRUPP

JAN BERGSTRÖM, professor i paleozoologi, Naturhistoriska riksmuseet

GÖRAN HOLM, professor i medicin, Karolinska sjukhuset

JOHAN HÅSTAD, professor i teoretisk datalogi, Kungl. Tekniska högskolan

GUNNAR INGELMAN, professor i subatomär fysik, Uppsala universitet

ULF LINDAHL, professor i medicinsk och fysiologisk kemi, Uppsala universitet

TORBJÖRN NORIN, professor i organisk kemi, Kungl. Tekniska högskolan

Samtliga är ledamöter av Kungl. Vetenskapsakademien.

Projektet har finansierats av Kjell och Märta Beijers Stiftelse, Stiftelsen Olle Engkvist Byggmästare, Sven och Dagmar Saléns Stiftelse och Wenner-Gren Stiftelserna.

FRI FORSKNING

som är öppen för det oväntade ger störst samhällsnytta

Vi står inför stora utmaningar inom hälsa, miljö och ekonomisk utveckling. Forskning är avgörande för att komma med nya lösningar. Alltför ofta resonerar politiker och andra beslutsfattare att strategiska satsningar riktade mot förutbestämda områden ska leverera de resultat som behövs.

Med det synsättet riskerar vi att missa de största genombrotten, som i många fall är baserade på upptäckter inom fri forskning. Ett nyfikenhetsstyrt sökande efter grundläggande kunskaper kan leda till banbrytande nytta – men den är ofta oförutsebar och kan därmed inte fångas i strategiska planer. Påfallande ofta kommer viktiga upptäckter från enskilda forskare eller små forskargrupper, inte inom nätverk som skapats uppifrån.

De senaste åren har Sverige och andra länder gjort stora satsningar på innovation och vad som tros vara ”nyttig” forskning. Deltagande forskare måste redan i förväg definiera vad de förväntas komma fram till. Sådan styrning kan få forskningen att stänga dörren för oväntade upptäckter som dyker upp, och ofta kan visa sig vara mer värdefulla än de ursprungliga forskningsidéerna.

Slumpen gynnar det förberedda sinnet – det var förklaringen bakteriologen Alexander Fleming gav när han inte kastade bort sin förstörda bakterieodling som hade möglat, utan istället insåg att han var något intressant på spåret. Bakterierna hade dött och med vidare forskning hittade han ett bakteriedödande ämne som mögelsvampen bildade. Det gav oss penicillin som än idag räddar livet på miljontals människor och ofta rankas som förra århundradets viktigaste upptäckt.

Kungl. Vetenskapsakademien ser allvarligt på den pågående utarmningen av förutsättningar för den fria forskningen, vars huvudsakliga mål är att ge nya kunskaper om vetenskapligt intressanta frågor. Därmed utarmas även den långsiktiga samhällsutvecklingen. Med den här skriften vill vi lyfta fram några exempel på hur grundläggande forskning utan att vara styrd av tankar på tillämpningar ändå gett mängder av nyttor. Historien är full av oväntade upptäckter som nu är grunden för självklara ting i vardagen som vårt uppkopplade IT-samhälle, sjukvård och läkemedel som håller oss friska eller nya material med fascinerande egenskaper.

TREVLIG – OCH KANSKE ÖVERRASKANDE – LÄSNING!



- 
- 6** PCR-tekniken och bioteknikrevolutionen föddes ur jakt på tuffa bakterier
- 8** Xylocain, digitalröntgen och titanimplantat ger smärtlindring och nya tänder
- 12** INTERVJU GÖRAN K. HANSSON:
"Om ingen tror på din forskning kan det vara ett tecken på att du är något oväntat på spåren"
- 14** Magnetkameran som hjälper sjukvården kom fram ur forskningsproblem för kärnfysiker
- 16** Feromoner mot skadeinsekter
Materialet grafen fångades med tejp
Lysande metod läser DNA snabbast
Slump gav värdefull separationsteknik
- 18** INTERVJU MARIA STRØMME:
Nanoforskare som ser nyttan i grundforskningens sidospår
- 20** Prostaglandiner som visade sig styra celler gav Nobelpris och många läkemedel
- 22** Lasern, World Wide Web och RSA-kryptering är basen för den digitala revolutionen
- 26** INTERVJU GUNNAR JOHANSSON:
Upptäckten på blodcentralen gav nytt allergitest
- 28** Fluorescerande protein från manet gav grönt ljus för modern cellforskning

MODERN BIOTEKNIK HAR FÅTT mängder av värdefulla tillämpningar inom olika områden. Gener kopplade till cancer går att identifiera, växter kan modifieras för att producera användbara ämnen, DNA-spår kan binda gärningsmän till en brottsplats. Lite överraskande är grunden för landvinningarna forskning om värmetåliga bakterier. Den bedrevs utan en tanke på att den på sikt skulle bli livsviktig och skapa miljardinkomster för bioteknikindustrin.

JAKT PÅ TUFFA BAKTERIER **öppnade för bioteknikrevolutionen**

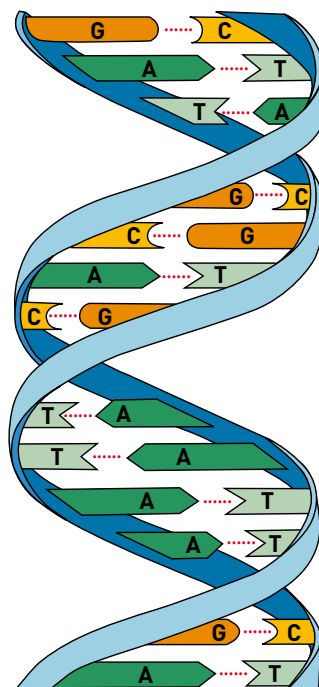
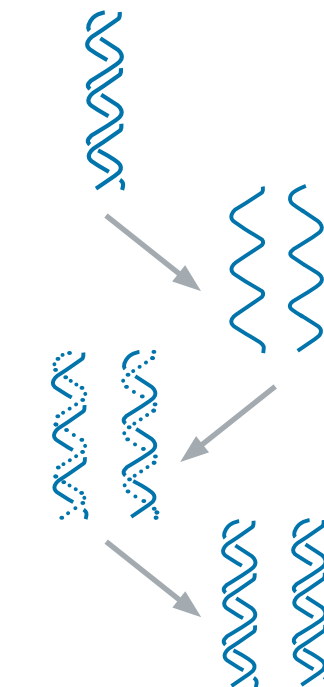


De heta källorna i nationalparken Yellowstone färgas vackert av olika bakterier. Upptäckten av den biologiska mekanismen som gör att de kan överleva nära kokpunkten blev avgörande för utvecklingen av den viktiga PCR-metoden för att kopiera DNA.

Förmågan att kunna hantera DNA-molekyler är grunden för allt från modern medicinsk diagnostik till forskning om arters utveckling. Den genetiska koden i arvmassan styr tillverkningen av olika proteiner, som i sin tur driver otaliga biologiska processer. Den insikten har växt fram och nyanserats de senaste decennierna. Redan på 1980-talet började forskarna se vilka enorma möjligheter som hägrade. Men befintliga tekniker begränsade vad de kunde göra. Grundläggande saker som att få tag på stora mängder DNA att studera krävde odling av bakterier som fått den önskade DNA-biten inklipt i sin arvmassa. Metoden var komplicerad och krävde många reningssteg innan forskarna fick sina efterlängtnade DNA-kopior.

En bättre metod behövdes, men gnistan som tände den biotekniska revolutionen kom inte från riktad metodutveckling utan från grundforskning om bakterier. Bakgrunden är att mikrobiologen Thomas Brock på 1960-talet var intresserad av förutsättningarna för liv. Den rådande vetenskapliga synen var att inga organismer kunde överleva vid höga temperaturer. Vid Indiana University började Brock studera bakterieprover från heta källor i nationalparken Yellowstone. Till sin förvåning hittade han en art som kunde överleva nära kokpunkten – normalt kokar vi ju vatten för att döda eventuella bakterier. Den värmetaliga arten döptes till *Thermus aquaticus* och Brocks forskning gav en ny syn på livets förmåga att anpassa sig till extrema miljöer.

Som ofta sker visade sig dock den vid tidpunkten ”onyttiga” forskningen senare leda till viktiga tillämpningar. En av bioteknikforskarna på 1980-talet som var frustrerad över befintliga tekniker var kemisten Kary Mullis. Han tillverkade byggstenar till DNA och fogade tålmodigt samman dem till små DNA-bitar. Behovet av snabbare



DNA-MOLEKYLEN ÄR UPPBYGGD AV kvävebaser som passar ihop enligt ett bestämt mönster: adenin binder till tymin, och guanin till cytosin. Om molekylen två strängar tas isär går det att fylla på varje halva med nya kvävebaser så att det bildas två kopior som är identiska. Francis Crick, James Watson och Maurice Wilkins som fick Nobelpriset i fysiologi eller medicin 1962 för sin beskrivning av DNA såg tidigt att molekylen bar på den här möjligheten att kopiera sig själv.

och automatiska tekniker var tydligt. Idén till den förlösande tekniken Polymerase Chain Reaction (PCR) kom han på under en nattlig bilfärd hemma i Kalifornien. Han funderade på det enkla sättet våra celler använder för att reparera skador i en av strängarna i DNA. Ett speciellt enzym fångar in byggstenar som behövs och sätter samman en ny spegelbild av den oskadade strängen.

Snilleblixten Mullis fick var att kopiera en kort DNA-sträng på det sättet i provrör, och därefter värma provet vilket får den nybyggda dubbelsträngen att dela på sig. Provet kyls sedan och processen upprepas så att de två enkelsträngarna kopieras. Efter en ny uppvärmning har nu fyra enkelsträngar bildats. Så går det att fortsätta tills det finns miljoner DNA-bitar. Problemet var dock att PCR-metoden krävde att provet om och om igen hettades upp till nära kokpunkten. Kopieringsenzymet som Mullis hade

tillgång till var ett protein som fungerar bäst vid vår kroppstemperatur. Blir det mycket varmare förstörs det och koagulerar – precis som proteinerna i ett kokt ägg.

Här kommer den tuffa bakterien *Thermus aquaticus* in. Dess kopieringsenzym kan arbeta även vid höga temperaturer och med hjälp av det utvecklade Mullis den slutliga PCR-metoden, som han belönades för med Nobelpriset i kemi 1993. Snart kunde forskare med enkel utrustning göra hinkvis med DNA på några timmar och idag bidrar det till nya landvinningar. Några exempel är att behandling av vissa sjukdomar kan anpassas till den genetiska variationen hos olika individer, bakterier kan modifieras för att producera vätgas som ger oss energi och kriminaltekniken kan använda DNA-spår allt effektivare och träffsäkrare. Allt tack vare överlevarna i de heta källorna – och att någon letade efter dem. //

Reportage

OVÄNTADE SIDOSPÅR

*gav
tandlä
nya*

Tandvården har tagit enorma kliv de senaste decennierna. Att du idag kan få avancerad och smärtfri hjälp med att laga ett hål eller till och med ersätta tänder med implantat ses närmast som en självklarhet.

En stor del av framgångarna beror på hängivna forskare som sökt efter kunskap inom helt andra områden, men via överraskande upptäckter lagt grunden för tandläkarnas nya verktyg.

Till Folk tandvårdens specialiststandklinik på S:t Eriks sjukhus i Stockholm kommer människor som behöver göra komplicerade rotfyllningar, återställa ett fungerande bett eller ersätta förlorade tänder. Gunnel Hanses är en av övertandläkarna och har bettrekonstruktioner och implantat som specialitet.

Att hon kan göra underverk på sin mottagning är möjligt tack vare grundforskning inom en rad olika ämnen, långt från tandvården. Allt från kemister intresserade av växtämnen och läkare som studerat blodflöden till partikelfysiker som jagat materiens beståndsdelar.

– Vi ersätter enstaka tänder eller bygger upp helimplantat med hela tandrader. För det använder vi titanimplantat, som ju fantastiskt nog integreras och blir som en del av käkbenet. I de många momenten som krävs är vi också beroende av modern röntgenteknik och lokalbedövning. Det är något jag och mina kollegor använder varje dag och inte skulle klara oss utan under de omkring tusen ingrepp vi utför varje år.

Det första Gunnel Hanses börjar med när patienten kommer är att ta röntgenbilder för att kunna se hur mycket benvävnad som finns i käken för att fästa titanskruvarna i. Under en röntgenundersökning bestrålas käken med miljarder små energipartiklar, så kallade fotoner. Hårda kroppsdelar som ben släpper igenom färre fotoner än mjuka delar. Ett skadat område, som ett försvagat käkben eller ett kariesangrepp, är mindre tätt och upptäcks på röntgenbilden. >>>

*smärtfria
karbesök och
tänder*

Liksom nästan alla tandläkare arbetar Gunnel Hanses idag med digital röntgenteknik, där fotonerna som passerar kroppen fångas in av en liten sensor som patienten får bita fast i munnen. Sensorn fungerar ungefär som den ljuskänsliga plastfilm man använde förr, där mönstret av infångade fotoner bildar mörka respektive ljusa områden i röntgenbilden.

– Vi har haft digitalröntgen i cirka tio år, och den har verkligen revolutionerat hur vi arbetar. Förr bromsades vi upp av att behöva vänta på att sköterskan skulle framkalla röntgenfilmen. När den sedan var klar efter några minuter var det inte alltid man hade lyckats få med allt man ville se, eller så var bilden felexponerad. Då var det bara att ta en ny bild och vänta ytterligare. Nu dyker bilden upp på skärmen inom några sekunder, och behöver något justeras går det att göra direkt.

En fördel jämfört med filmen är också att det räcker med en mycket lägre stråldos för patienten. Tandvården slipper dessutom problem med giftigt silver som läcker ut i avloppet och framkallningsvätskor som innehåller hälsofarliga kemikalier.

När Gunnel Hanses väl har fått en bild av hur käkbenet ser ut startar arbetet med att planera hur titanimplantatet ska sitta.

– Det är lite som att arbeta i trä, vi förbörar ett hål i käkbenet och vidgar det sedan i flera steg med hjälp av speciella gängtappar. När vi fått ett lagom stort hål kan titanskruven roteras på plats.

Med den beskrivningen av ingreppet är det lätt att inse hur ovärderligt det är att kunna ge patienten bedövning. Idag är det självklart, men ända fram till mitten av 1900-talet var det ofta ett val mellan pest och koler. Kokain gick att använda men risken var att patienter blev beroende. Det fanns även medel som liknade kokain utan att vara beroendeframkallande, men de var inte så effektiva och kunde ge allergiska reaktioner. Inte konstigt att svenska xylocain som kom på

1940-talet och gav lokalbedövning genom att blockera nervcellernas smärtsignaler till hjärnan revolutionerade tandvården.

– Vi använder fortfarande xylocain, eftersom det är lätt att arbeta med. Efter att vi injicerat medlet med en tunn nål börjar bedövningen verka efter bara några sekunder. Det har också minimalt med biverkningar.

Det finns ändå patienter som felaktigt tror att de är allergiska mot xylocain och inte vill ha det förklarar Gunnel Hanses. Men det beror på att man ofta använder medlet tillsammans med adrenalin som drar samman blodkärlen och gör att bedövningen sitter i längre. Ibland träffar nålen mitt i ett blodkärl och då kan adrenalinets få hjärtat att rusa vilket är lite obehagligt för patienten.

När en titanskruva väl är fäst i käken fungerar den som stöd för en tandkrona eller större broar som ska hålla upp flera tänder. Enligt Gunnel Hanses kan det idag finnas uppåt tusen olika implantatsystem världen över. Orsaken är att titan accepteras av kroppen och låter benvävnaden i käken växa samman kring skruven. Efter några månader har den integrerats i benet.

Gunnel Hanses minns att hon hörde talas om forskningen om de då helt nya titanimplantaten när hon läste till tandläkare på 1970-talet. Men de första åren när hon sedan började arbeta som tandläkare var fortfarande lösa proteser lösningen för den som hade tappat sina tänder.

– Proteser brukar ju kallas för löständer, och det stämmer ju – de sitter löst och glappar så att de inte

Med lite perspektiv är det otroligt spännande att se tillbaka på de tekniska framsteg som kommit inom tandvården.



alltid går att lita på. Att få en protes gav ingen bra livskvalitet, speciellt för yngre patienter som förlorat tänderna på grund av olyckor eller liknande.

Hon förklarar att det är betydligt roligare att vara tandläkare idag. De implantat som sätts in här på S:t Eriks sjukhus och på andra tandläkarkliniker över hela världen fungerar lika bra som de ursprungliga tänderna och håller ofta livet ut.

– Med lite perspektiv är det otroligt spännande att se tillbaka på de tekniska framsteg som kommit inom tandvården. De nya verktyg vi fått i form av implantat, bättre röntgenmetoder och bedövningsmedel har inneburit oerhört mycket för oss som arbetar här, men framför allt för patienterna som kan få mycket bättre vård idag. //

SLUMPEN GAV KROPPSVÄNLIGA IMPLANTAT

Idag används titanimplantat för otaliga ändamål, allt från att fästa nya tänder och fingerproteser till att reparera knä- eller höftleder och andra utslitna delar i kroppen. Att metallen är så värdefull för sjukvården beror på att den accepteras av immunförsvaret, som i vanliga fall identifierar och stöter bort främmande vävnad. Men forskningen som ligger till grund för dagens olika reservdelar i titan hade inget med implantatmaterial att göra. Läkaren Per-Ingvar Brånemark forskade på 1950-talet om blodcirkulationen i benmärgen, bland annat genom att operera in en liten kammare i underbenet på kaniner. Att den gjordes i titan

var mest en slump, liksom att den vid ett tillfälle fick sitta inne längre än planerat. Kammaren hade då växt fast i benvävnaden. Brånemark var fokuserad på sin benmärgsforskning och insåg inte värdet av den oväntade upptäckten av ett kroppsvänligt material förrän flera år senare. Då hade han dock svårt att få stöd för sin forskning om titan, eftersom det fanns nedslående försök

med många andra implantatmaterial som hade lett till plågsamma misslyckanden. Men implantaten blev en framgång redan vid det första försöket 1965 då en tandlös patient fick nya tänder. Idag används titanimplantat över hela världen och har hjälpt miljontals människor med olika besvär att leva bättre liv.



FYSIK SOM FÅNGAR IN RÖNTGENSTRÅLNINGEN

Röntgenapparater spreds till sjukhus och tandläkare redan kort efter upptäckten av röntgenstrålningen 1895 av Wilhelm Conrad Röntgen. De energirika partiklarna, fotonerna, i strålningen passerar kroppens olika vävnader, och de gick att avbilda genom att fånga in fotonerna på fotografisk film. Idag har filmen ersatts av digitala sensorer hos bland annat tandläkare och vid mammografiundersökningar. Röntgenfilm fångar bara in några procent av alla fotoner, medan de effektiva sensorerna fångar in fler fotoner så att betydligt lägre stråldos behövs för en undersökning. Att dessutom slippa framkalla röntgenfilm sparar både tid och miljöpåverkan.

De sensorer som gör dagens digitalröntgen möjlig bygger på forskning utan någon koppling till vården. Sensorerna som är mest effektiva hämtar teknik från avancerade instrument som partikelfysiker byggt vid forskningsanläggningen CERN i Schweiz. Där accelereras och krockas protoner eller andra partiklar i jakten på materiens innersta. Extremt känsliga sensorer används för att fånga in beståndsdelarna från krockarna.

Lite äldre röntgensensorer baseras istället på så kallad CCD-teknik, som även används i digitalkameror. Grunden är den fotoelektriska effekten som Albert Einstein teoretiskt förklarade redan i början av 1900-talet. Forskarna Willard Boyle och George Smith försökte långt senare bygga elektroniska minnen i kisel baserat på effekten, men insåg snart att det de fått fram kunde bli ljuskänsliga sensorer som det gick att skapa digitala bilder med. De belönades med 2009 års Nobelpris i fysik för upptäckten.



SMAKLIG UPPTÄCKT BLEV VÄRDEFULL BEDÖVNING

Att de var en revolutionerande smärtlindring på spåren hade kemisterna vid Stockholms högskola, föregångare till Stockholms universitet, ingen aning om. Nils Löfgren, Bengt Lundqvist och deras handledare Holger Erdtman studerade ett ämne som hittats i en viss sorts kornplanter som tålde skadedjur bättre. De framställde flera liknande ämnen och ett sätt att testa det man hade tillverkat var på den tiden helt enkelt att smaka på det – och ett av ämnena visade sig bedöva tungan. Orsaken är att det tillfälligt blockerar nervcellerna så att det inte uppstår några nervimpulser. Efter några års utveckling lyckades Löfgren och Lundqvist framställa en variant av ämnet som det lilla läkemedelsföretaget Astra 1943 köpte rättigheterna till som bedövningsmedel. Under namnet xylocain blev det en stor internationell framgång, bland annat efter att påven behandlats för kronisk hicka i början av 1950-talet. Intäkterna finansierade Astras fortsatta läkemedelsutveckling som på sikt kunde resultera i nya storsäljare, bland annat magsårsmedlet Losec.



GÖRAN K. HANSSON har själv varit med om att göra en oväntad upptäckt om immunförsvarets roll vid hjärtsjukdom som ingen trodde på först. Nu är han ständig sekreterare för Kungl. Vetenskapsakademien som i mer än 275 år arbetat för den fria forskningen.

"Om ingen tror på din forskning kan det vara ett tecken på att du är något oväntat på spåren"

När du blev utsedd till ständig sekreterare för Kungl. Vetenskapsakademien sa du att ni mer än någonsin behövs som röst för vetenskapen i samhällsdebatten. Varför är det viktigt?

Jag är bekymrad över att misstro mot fakta och spridning av okunskap får allt större plats i samhället. Det gäller allt från klimatfrågan och den globala utvecklingen till hälsa och migration. Akademien utgör en expertpanel med landets

främsta forskare och har en viktig roll i samhällsdebatten som en oberoende röst för vetenskap och kunskapsbaserad utveckling.

Vi har till exempel nyligen engagerat oss mot att preparat utan medicinska effekter ska få kallas läkemedel och vi har sagt ifrån att det behövs nya regler för att utreda forskningsfusk. Vi kommenterar också regelbundet miljö- och energifrågor där politiken måste baseras på forskningens rön.

Vetenskap och tillgång till pålitlig kunskap är dessutom grunden inte bara för vårt ekonomiska välstånd, utan även för vår demokrati. För att bidra till det arbetar vi för forskningens frihet, och för att staten och andra forskningsfinansiärer inte ska titta för snävt på vad deras satsningar ska uppnå. Det kan ibland ta tio år eller mer innan en upptäckt får praktiska tillämpningar, och kanske blir det inom ett helt oväntat område.

Hur är villkoren för fri forskning som kan ge sådana oväntade genombrott idag?

Grundforskningen har haft bra villkor, och ser vi till resultatet av svensk forskning går det inte annat än att bli imponerad av vårt lilla land. Men samtidigt finns oroande tecken på att staten vill ge mindre pengar till projekt som forskare själva startar, och mer till stora satsningar där staten själv pekat ut målen. Man hoppas att det ska leda till fler innovationer och nya produkter.

Målstyrd forskning är inte fel i sig, men Akademien lyfter fram hur viktigt det är att även stödja grundforskningen. Det är inte alltid så lätt att få förståelse för detta, även om det finns gott

Kungl. Vetenskapsakademien är engagerad i flera stora forskartjänstprogram i samarbete Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse samt Marianne och Marcus Wallenbergs Stiftelse. Genom programmen får unga lovande forskare möjligheten att satsa på djärva projekt med längre tidsperspektiv tack vare stora och långsiktiga anslag.



om bevis på att det är i den fria forskningen som de verkligt stora genombrotten kommer.

Ser vi på hur nya forskningsområden och branscher i näringslivet växt fram bygger de i många fall på personer med nya idéer och fri grundforskning som gett oväntade upptäckter. Det gäller bland annat IT-branschen och företagen inom molekylärbiologi i Silicon Valley, liksom många medicin- och teknikföretag i Sverige.

Men tyvärr är svenska företag och forskningsledare ibland långsamma att ta klivet när det kommer nya genombruten. Nyckelupptäckten som ledde till den revolutionerande "gensaxen" CRISPR/Cas9 gjordes till exempel i Sverige för några år sedan. Med CRISPR/Cas9 går det idag att göra mycket exakta genförändringar i arvsmassan, ett slags plastikkirurgi på DNA, i både växter, djur och även i människans arvs massa. Nu har forskaren som gjorde upptäckten flyttat härifrån och patenten finns i andra länder. Sverige behöver alltså bli bättre på att fånga upp bra idéer. När världen rör sig allt snabbare måste det svenska näringslivet och de svenska universiteten också göra det.

Du har själv gjort upptäckter om att hjärtinfarkt och stroke ofta beror på inflammationer orsakade av kolesterol i blodkärlen. Hur bemöttes den nya oväntade kunskapen som gick emot sin tids forskning?

De tidigare teorierna pekade på att kolesterol täppte igen ådrorna, men det stämde inte med vad vi såg i prover från drabbade patienter. När vi undersökte dem närmare såg vi att det istället var inflammation i blodkärlen som till slut utlöste blodpropp och stoppade flödet. Men inte en jättel trodde på det i början! Så jag brukar säga till mina forskarstudenter – om du själv litar på dina data men ingen annan tror på dem, då kan du vara något helt nytt och viktigt på spåren!

Ett berömt exempel på det är amerikanen Robert Furchgott som såg att blodkärl ibland vidgade sig på



Göran K. Hansson är ständigt sekreterare för Kungl. Vetenskapsakademien och professor i experimentell kardiovaskulär forskning vid Karolinska Institutet.

ett oväntat sätt. Det visade sig bero på att en gas, kväveoxid, bildades i blodkärlen och fick dem att vidga sig. Att en oorganisk gasmolekyl kunde vara en signalsubstans i kroppen var det ingen som trott var möjligt, men det gav till slut forskarna Nobelpris och har lett till allt från bättre hjärtmediciner till Viagra.

Hur ska vi få fram alla de nya idéer som behövs för att lösa dagens utmaningar och ge oss nya upptäckter som utvecklar samhället?

Vi är fler människor på jorden än någonsin och det tär på jordens resurser på ett sätt som kräver nya lösningar från framtidens forskare. Därför måste vi stimulera unga talanger att bli forskare.

Tillsammans med Wallenbergstiftelserna och andra finansörer delar Akademien ut forskningsanslag till de allra duktigaste unga forskarna. Det ger dem chansen att bygga upp sina forskargrupper här i Sverige. Vi försöker också påverka regering, riksdag och universitetsledning så

att karriären som forskare blir mer attraktiv, då väljer förhoppningsvis fler duktiga studenter att börja forska.

En annan viktig uppgift för oss är att berätta om forskning för ungdomar. Bland annat har vi startat en ferieskola för nyanlända och ungdomar från underprivilegierade områden. Under en eller ett par veckor får de träffa forskare och arbeta med spännande projekt. Tanken är att ge dessa ungdomar inblick i forskningens spännande värld och inspirera dem att läsa vidare.

För min egen del har jag haft en fantastisk resa i vetenskapens värld. Att vara forskare har gett mig större frihet än jag kunnat få i något annat jobb. Min drivkraft är att flytta fram kunskapens gränser och helst se att de nya kunskaperna kommer till praktisk nytta. De gånger du gör en ny upptäckt – det är en enorm känsla! Dessutom får jag arbeta tillsammans med trevliga och duktiga kollegor från hela världen, det gör att vi också får lära oss mycket om varandra som människor. //

MAGNETKAMEROR SOM ANVÄNDS I SJUKVÅRDEN över hela världen bygger på något som från början var en irriterande störning i grundläggande forskning om atomkärnor. Idag har problemet istället blivit ett verktyg som ger tredimensionella bilder av våra organ och hjälper läkare att snabbt och utan några ingrepp avgöra om du är sjuk.



Kameran som föddes ur forskningsproblem för nyfikna kärnfysiker

Nya avbildningstekniker har revolutionerat sjukvården ända sedan röntgenstrålningens förmåga att tränga igenom kroppens vävnader och avbilda människors inre organ upptäcktes i slutet av 1800-talet.

Idag hjälper magnetresonanstomografi läkare att identifiera och behandla många sjukdomar. Möjligheten att undersöka olika organ med magnetkamera, som är det mer vardagliga namnet på tekniken, har dock sina rötter långt utanför den medicinska forskningen. Bakgrunden är fysikforskarens intresse för atomkärnornas egenskaper.

Kärnfysik var ett av de hetaste forskningsområdena under 1930-talet och målet var att

undersöka den relativt nya upptäckten att atomer har en laddad kärna. Genom olika experiment försökte fysiker kartlägga hur olika grundämnen var uppbyggda och om det fanns några mönster i deras egenskaper. Eftersom atomkärnor omges av ett svagt magnetfält blev kraftiga magnetviktiga verktyg i jakten på atomkärnans hemligheter. Kärnorna kan fås att rikta in sig efter ett yttre starkare magnetfält – ungefär som små kompassnålar. En av alla kärnfysiker som arbetade inom området var Isidor Rabi. Han lyckades studera egenskaper hos atomkärnor i gaser genom att först ordna dem med ett yttre magnetfält och sedan tillföra energi med radiovågor. Kärnorna reagerade då på olika sätt som gav värdefull information om hur de var uppbyggda.

På 1940-talet beskrev de båda fysikerna Felix Bloch och Edward M. Purcell hur samma manöver var möjlig för atomkärnor i vätskor och fasta material, och liksom sin föregångare Rabi belönades de med Nobelpriset i fysik.

Problemet var dock att atomkärnorna inte alltid behöll sin magnetiska orientering. För att kunna undvika den störningen var kärnfysikerna tvungna att utforska hur den uppkom. Det visade sig att intilliggande atomer kunde påverka kärnan man studerade. Med den kunskapen kunde kärnfysikerna minimera de störande momenten i omgivningen och fortsätta med sina experiment.

Men om fysikernas intresse för störningen därefter svalnade, blev intresset hos vissa kemister desto hetare. De insåg att det gick att studera olika ämnen genom att kommunicera med ingående atomer med radiosignaler. Signalernas frekvens och störningen hos en atomkärna skvallrade om vilka atomer som omgav den. Genom att utsätta en okänd molekyl för magnetfält och fänga upp och analysera radiosignalerna gick det alltså att pussla ihop vilka atomer som ingick och hur de var bundna till varandra – något som inte varit möjligt tidigare. Under namnet NMR (Nuclear Magnetic Resonance) blev det därmed ett ovärderligt analysverktyg för kemister som ville undersöka nya molekyler som de framställde.

Omvandlingen från irriterande störning till praktisk nytta skulle dock

inte stanna där. Inom några decennier erövrades också medicinens område. Genom att studera störningen av väteatomkärnor, som bland annat ingår i vatten, går det att skilja olika vävnader och organ från varandra eftersom deras atomära omgivning är olika. En svensk pionjär var läkaren Erik Odeblad, som redan i slutet av 1950-talet kunde visa att livmodern producerade en särskild typ av sekret vid ägglossning med hjälp av magnetresonans.

I början av 1970-talet gjordes dock de banbrytande forskningsrön som ledde till att magnetresonans på allvar fick betydelsefulla tillämpningar inom sjukvården. Bland annat lyckades amerikanen Paul Lauterbur och engelsmannen Peter Mansfield skapa tvådimensionella bilder genom att variera magnetfältets styrka över en vävnad och bearbeta signalerna matematiskt. Den moderna magnetkameran var född och som belöning fick de båda Nobelpriset i fysiologi eller medicin 2003. Ytterligare en fysiker har varit viktig, nämligen Erwin Hahn som på 1950-talet studerade det så kallade spinneket. Nu ingår det i tekniken, men hans lek med atomkärnor hade då ingen praktisk nytta.

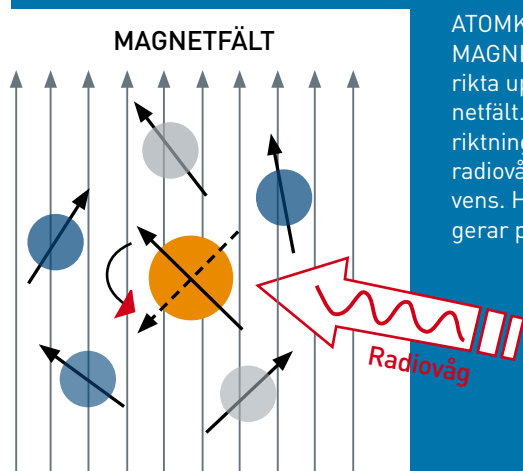
Avbildningar med magnetresonans började användas inom sjukvården i början av 1980-talet och tekniken har utvecklats så att den idag är en rutinmetod och kan ge många olika typer av information. En stor fördel med tekniken är att den inte bygger på röntgenstrålning eller

annan joniserande strålning som kan skada kroppens vävnader.

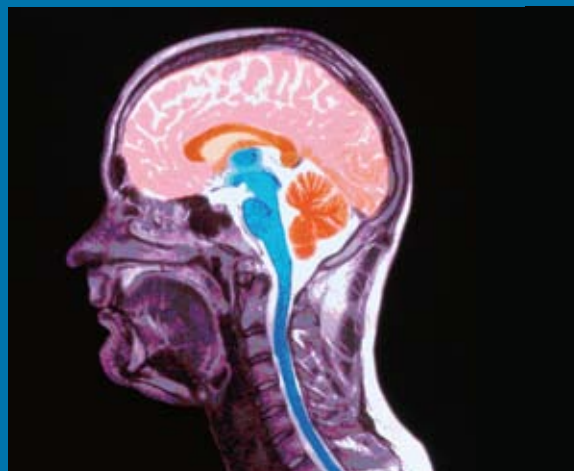
Med hjälp av matematisk databehandling går det nu att bygga tredimensionella bilder av det man undersöker och därmed visa var en skada är lokaliserad. Vid till exempel behandling av cancer går det att se avgränsningen av en tumör, vilket gör att operation och strålbehandling av patienten kan ske så effektivt som möjligt utan att behöva leda till onödiga skador. Undersökningar med magnetkamera ersätter också olika ingrepp med titthålsinstrument och andra besvärliga diagnostiska metoder.

Särskilt värdefull är magnetkameran för att studera hjärnan, inte bara för att se sjukliga förändringar. Genom att studera blodflödet i hjärnan med en teknik som ofta kallas funktionell magnetresonanstomografi går det att avgöra vilka delar som används under olika typer av aktiviteter. Rörliga bilder kan visa hur olika centra i hjärnan aktiveras när försökspersonen utsätts för olika typer av stimulans. Det har öppnat ett fönster till att studera medvetandets inre – tack vare en lång rad kärnfysiker som försökte förstå atomens inre. //

Särskilt värdefull är magnetkameran för att studera hjärnan. Ett av de första framstegen var att det gick att diagnostisera sjukdomen multipel skleros (MS) hos patienter, något som varit svårt tidigare. Förutom att hitta de små inflammationer som ger upphov till sjukdomen går det att se om de påverkas av olika behandlingar för att bromsa sjukdomen.



ATOMKÄRNOR ÄR SVAGA MAGNETER och går att delvis rikta upp efter ett yttre magnetfält. De kan sedan ändra riktning när de påverkas av radiovågor med en viss frekvens. Hur atomkärnorna reagerar på radiosignalen beror på deras omgivning och det går därmed att analysera molekyler eller skilja på olika vävnader som kärnorna omges av.



FRAMTIDSMATERIALET SOM FÅNGADES MED TEJP

GRAFEN ÄR ETT AV DE MÄRKLIGASTE MATERIAL som har framställts. Dess unika egenskaper gör det intressant för tillämpningar inom allt från nya typer av elektronik och solceller till lätta fordonskomponenter. Grafen leder elektricitet lika bra som koppar och leder värme bättre än andra kända material. Det är dessutom nästan helt genomskinligt och samtidigt extremt starkt.

Materialet är en form av kol, uppbyggt på samma sätt som den grafit vi har i vanliga blyertspennor, men det är endast ett atomlager tjockt. Grafen upptäcktes av en lycklig och lekfull slump av fysikerna Andre Geim och Konstantin Novoselov. I sitt laboratorium vid University of Manchester testade de hur pass tunna flagor de kunde få loss från en bit grafit med hjälp av en vanlig tejprensa. Med en rad påhittiga metoder lyckades de isolera de allra tunnaste flagorna – som visade sig bestå av ett enda atomlager. I teorin har förekomsten av sådana material diskuterats länge, men de borde

vara instabila och nära omöjliga att framställa.

Men Geim och Novoselov lyckades alltså. De undersökte sitt nya material och visade på olika unika egenskaper. Elektroner rör sig till exempel hundra gånger snabbare i grafen än i kisel som används i dagens elektronik, vilket öppnar för effektivare datorer.

Mängden forskning och patent kopplade till materialet har exploderat och kommer troligen resultera i nya produkter inom en rad områden de närmaste åren. Men trots grafens många möjliga användningar låg vetenskaplig nyfikenhet, inte riktad materialforskning, bakom Geims och Novoselovs upptäckt som ledde till att de fick Nobelpriset i fysik 2010.

Grafen består av ett enda lager kolatomer hopbundna i ett plant nät. Materialets atomer är så exakt ordnade att det bland annat leder ström extremt bra och blir väldigt starkt.



DUBBEL SLUMP GAV VÄRDEFULL SEPARATIONSTEKNIK

Att kunna rena fram hormoner eller enzymer och andra proteiner är grunden för många företag inom bioteknikbranschen. Det är idag möjligt tack vare att forskarna Per Flodin och Jerker Porath utvecklade gelfiltrering i slutet av 1950-talet på Biokemiska institutionen vid Uppsala universitet. Bakgrunden är forskning om olika ämnen i sockerbetor på 1940-talet.

Kemisten Björn Ingelman hittade av en händelse dextran, en polysackarid som syntetiseras av bakterier som störde tillverkningen på sockerbruken. Ingelman upptäckte oväntat att ämnet gick att tvärbinda till ett nätverk så att molekylerna bildade en gel.

Porath och Flodin arbetade med att isolera proteiner genom att låta en blandning rinna genom ett långt glasrör fyllt med stärkelse. Av en slump testade de istället den dextrans som Ingelman hade tillverkat ett decennium tidigare. Överraskande nog visade det sig att nätverket i gelen delade upp proteiner så att de kom ut efter storlek, och därmed kunde isoleras var för sig. En enkel, billig och unik metod för isolering och rening av biomolekyler var född.

Metoden som också kallas molekylsiktning lanserades under namnet Sephadex 1959 av företaget Pharmacia Fine Chemicals och blev en enorm försäljningssuccé. En sändning med Sephadex som skickades över till USA avsedd att räcka det första året tog slut redan efter en vecka. Olika gelmaterial har sedan dess varit ett viktigt affärsområde för Pharmacia och företags efterföljare.

Grundforskning inom separationsteknik för proteiner i Uppsala har sedan länge lett till viktiga tillämpningar och företagsframgångar. Professor The Svedberg utvecklade ultracentrifugen i samarbete med flera industriföretag och fick Nobelpris i kemi 1926. Hans elev Arne Tiselius fick priset 1948 för utveckling av adsorptionskromatografi och analys av proteiner med elektroforesmetoden.



SVENSK METOD LÄSER DNA SNABBAST

Kunskaperna inom den moderna biotekniken bygger på att vi kan läsa av arvs-
massans genetiska information. Den skapas av
ordningen av fyra olika byggstenar, så kalla-
de kvävebaser, i den långa DNA-molekylen.
Idag används tre olika metoder för att be-
stämma sekvensen av kvävebaser och den
snabbaste bygger på ett oväntat sidospår
från svensk grundforskning.

Biokemisten Pål Nyrén forskade vid
Stockholms universitet i mitten av 1980-talet
om vad som styr transporten av energi i vissa
bakterier. Ur detta arbete utvecklade han en
metod som fick varje energitransport att ge
upphov till små ljusreaktioner som kunde
följas i detalj.

Några år senare när han en dag cyklade
hem från laboratoriet kom han på att meto-
den kunde användas för att kartlägga DNA-
sekvenser. Med Pål Nyréns teknik som kallas
pyrosekvensering går det att följa vilken av
de fyra kvävebaserna som i tur och ordning
binder till en okänd DNA-bit, eftersom de då
avger den ljussignal som Nyrén tidigare stu-
derat. Genom att följa serien av ljussignaler
som visar vilka kvävebaser som binder till
DNA-biten får man till slut hela dess kod.

Pål Nyrén förädlade pyrosekvense-
ringen på KTH och metoden används nu
över hela världen. Den har bidragit till den
extremt snabba utvecklingen inom DNA-
sekvensering. Snart är det möjligt att läsa av
en människas hela arvmassa på en dag för
bara några tusen kronor – vilket kan jämföras
med att den första kartläggningen av män-
niskans tre miljarder kvävebaser tog över tio
år och kostade flera miljarder dollar.



Pyrosekvensering bidrar bland annat till synen på
människans utveckling. Den svenske forskaren Svante
Pääbo vid Max Planck-institutet för evolutionär antro-
pologi i Leipzig har använt tekniken för att kartlägga
stora delar av Neandertalmänniskans arvmassa.

KUNSKAPER OM VÄLDOFTANDE SPRÅK SKYDDAR MOT SKADEINSEKTER



INSEKTER LITAR TILL KEMISKA DOFTSIGNALER
för att bland annat hitta potentiella partners. Med sina känsliga
doftantenner sniffar de även efter dofter från växter och annan
föda. Att insekter kan kommunicera på ett sätt som även fung-
erar över långa avstånd har forskare anat i över hundra år. Den
tyske kemisten Adolf Butenandt var dock först med att visa att
det sker med hjälp av specifika doftämnen.

Efter två decenniers forskning lyckades han 1959 isolera äm-
net bombykol som silkesfjärilshonor utsöndrar för att locka till
sig hannar. Doftsignalen är ofattbart känslig – det räcker med en
koncentration som motsvarar antalet sockermolekyler i en droppe
vatten från en sjö där man löst upp en sockerbit. Butenandt fick de
få milligram av ämnet han behövde i sin forskning tack vare hän-
givna medarbetare som skar ut den doftproducerande körteln från
en halv miljon odlade silkesfjärilshonor.

Två andra kemister gav doftämnen som på det här sättet är
verksamma mellan individer inom samma art namnet feromon.
Kommande decennier identifierades hundratals sådana hos andra
insekter. Doftämnen som används för kommunikation mellan olika
arter i djur- och växtvärlden upptäcktes också. Här var svensken
Bertil Kullenberg en biologisk pionjär när han ledde forskning som
visade att orkidén flugblomster pollineras av stekelhannar genom
att dofta som en stekelhona.

Tvärvetenskapligt samarbete mellan biologer och kemister samt
utveckling av känsliga analysmetoder och processer för att tillverka
doftämnen i större skala lär oss nu allt mer om att bekämpa skade-
insekter med doftsignaler. Det kan ersätta mer miljöpåverkande me-
toder. Idag används doftämnen för att förvirra eller fänga in insekter
som förstör allt från majs och olika frukter till bomull och skog. Det
finns också förhoppningar om att kunna kontrollera insekter som
sprider farliga sjukdomar. En finess är att doftspråket är mycket
specifikt och ofta riktar sig till en enda art – vilket gör att insatser
inte påverkar andra insekter.



Grundläggande kunskaper om
silkesfjärilens doftsignaler har
öppnat ett helt kemiskt språk
av doftämnen för att kontrollera
skadeinsekter inom livsmedels-
odling och skogbruk. I Sverige
används feromoner bland annat i
äppelodlingar och för att minska
de mycket kostsamma angreppen
på träd av granbarkborren.



Hon ser spännande tillämpningar av sin forskning, har massor av patent och har startat flera företag. Men nanoforskaren **Maria Strømme** hyllar det fria kunskapssökandet kring grundläggande fenomen. Det leder ofta till att nyttor dyker upp i oväntade sidospår. Hennes förnybara algbatteri som uppmärksammas över hela världen är det senaste exemplet på just det.

Din forskning om nanoegenskaper hos material har fått flera lovande användningsområden. Vilken roll spelar grundforskning för resultaten?

När jag startar upp ett projekt är det viktigt för mig att kunna se en tänkt nytta med forskningen. Men när vi sedan drar igång och ska börja försöka förstå olika materialvetenskapliga fenomen måste vi ned på en väldigt grundläggande nivå. Material med nanostrukturer får helt nya egenskaper i och med att de ofta har en enormt mycket större yta än material i bulkform. Både

Maria Strømme är professor i nanoteknologi och leder en grupp med ett tjugotal forskare vid Uppsala universitet. Huvudinriktningen för forskningen är att utveckla nanomaterial och metoder med tillämpningar inom livsvetenskaperna och energilagring.

smältpunkt och elektriska egenskaper ändras. Det kräver ett helt annat sätt att tänka, och för att hitta möjliga användningar måste vi först kartlägga ett materials basala egenskaper. Vi lägger faktiskt nästan all vår tid på grundforskning.

Många bra idéer kommer ofta fram som sidospår till annan forskning, det verkar gälla även för din forskargrupp. Vad beror det på?

Vår forskning kring grundvetenskapliga problem ger en plattform med nya kunskaper om olika material. Det öppnar för att oväntade sidospår kan dyka upp som ofta visar sig vara minst lika intressanta som den ursprungliga projektiden.

När något oförutsett dyker upp i forskningen på det sättet – de dagarna är de roligaste på jobbet.

Ett aktuellt exempel är batteriet baserat på algen grönsläck som vi nu utvecklar. Det går snabbt att ladda och är uppbyggt av förnybara råvaror. Vi hade forskat kring grundläggande materialegenskaper hos algens cellulosa i över tio år, bland annat som bärare av läkemedel. Cellulosan interagerade med vatten på ett sätt som gjorde att vi upptäckte att den enkelt kunde täckas med tunna lager av en ledande polymer för att fånga in väldigt många laddade joner. Den blev därmed ett intressant substratmaterial för en batterielektrod.

Hur upptäckte du själv att det som kan ses som "onyttig" grundforskning kan få viktiga tillämpningar?

Jag är fysiker i botten och doktorerade inom området fasta tillståndets fysik där jag studerade jontransport över gränssytor i material och hur ytan påverkade transporten. Det som triggade mig var den grundläggande förståelsen av vad som hände, utan en tanke på någon möjlig tillämpning. Men sådana visade sig finnas. Av en tillfällighet träffade jag en farmaceutforskare som behövde hjälp med metodutveckling för ett specifikt problem kring frisättning av läke-

Nanoforskare som ser nyttan I GRUNDFORSKNINGENS SIDOSPÅR

medel, vilket visade sig gick att lösa med den kunskap jag hade om jontransport. Det fick mig att inse hur värdefull grundläggande fysik och materialvetenskap kan vara inom livsvetenskaperna, något som blivit mitt forskningsområde idag.

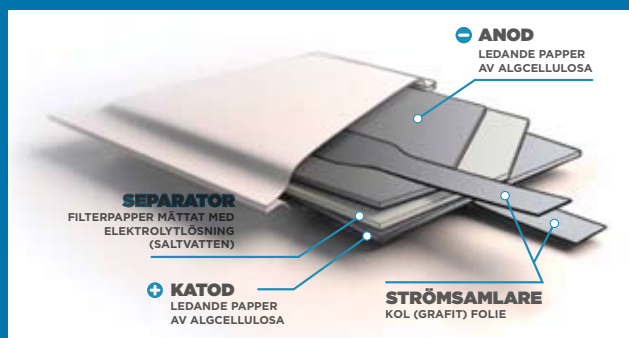
Ytterligare ett exempel på sidospår är vår forskning kring material för implantat som ska kunna leverera antibiotika för att förebygga infektioner. Där har vi nu kommit in på ett spår för hur själva implantatmaterialet istället kan bli antibakteriellt, genom att ge det en yta som både är bioaktiv och fotokatalytisk och som därmed kan döda bakterier.

Önskemål om att satsningar på forskning ska ge nytta hörs allt oftare. Utifrån dina erfarenheter, hur kan forskningen ge mesta möjliga nytta?

Det är inte bra att snäva in för mycket vad forskningen ska ge för svar. Många spännande tillämpningar dyker som sagt upp i sidospår till vetenskap som ger grundläggande kunskaper. Jag skulle gärna vilja bedriva mer forskning där det går att fånga in sådana oväntade upptäckter, det som kallas serendipity inom forskarvärlden. Men idag är det svårt att få forskningsmedel som tillåter det, eftersom finansierare redan när ett projekt startar vill ha en tydlig plan med delmål, slutmål och vilken relevans projektet har i form av samhällsnytta eller hur det ska passa in i be-

fintlig kunskap. Det gäller även Vetenskapsrådet som ska stödja fri grundforskning. Kraven gör det svårt att avvika från den ursprungliga projektplanen.

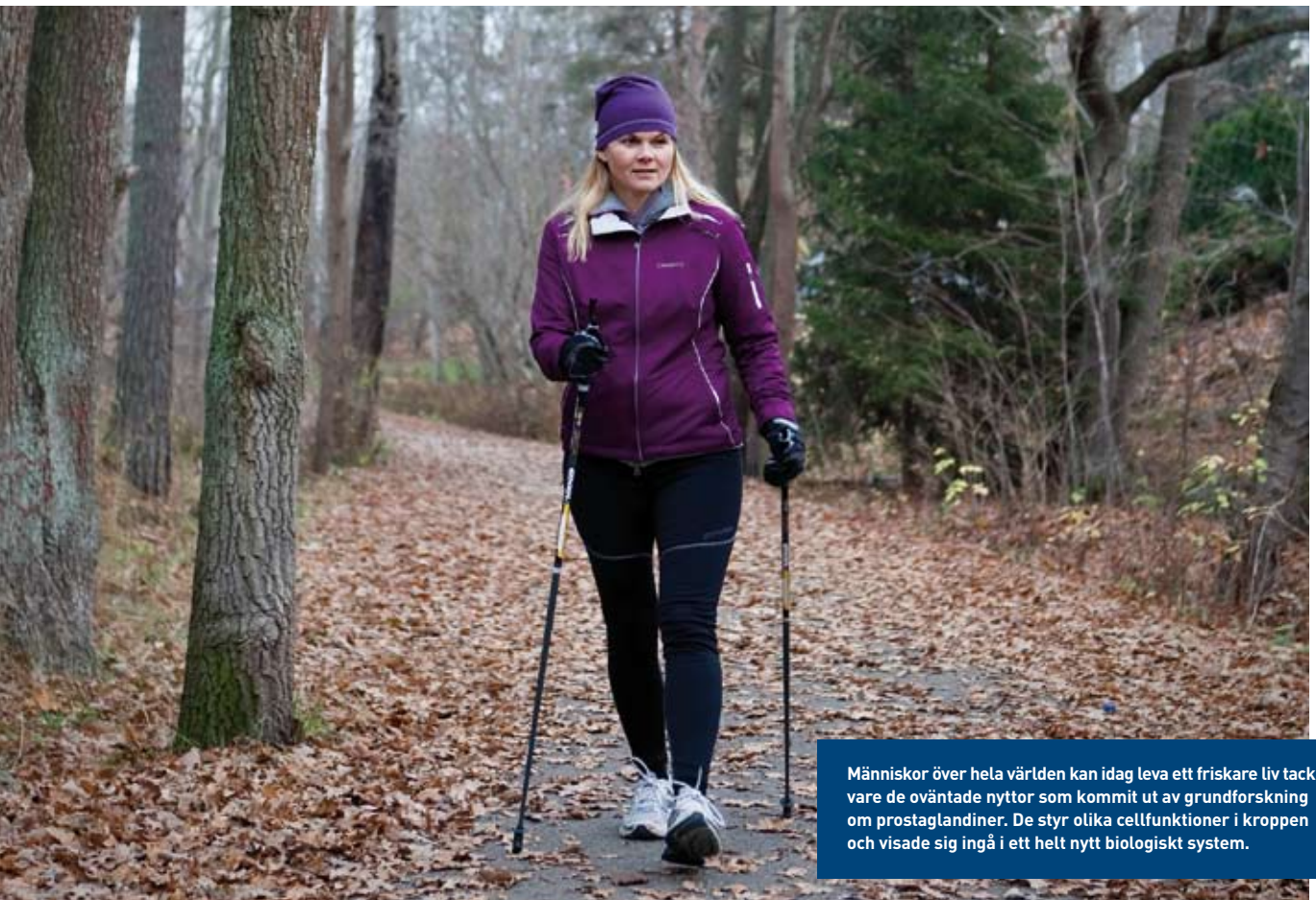
Kanske vore det bra med fler satsningar på personer istället. Har du visat att du är en duktig forskare borde det gå att söka fria pengar som du får använda på bästa sätt efter eget huvud, det skulle ge mycket spännande forskning. För mig är räddningen medel från universitetet som jag lyckas frigöra och använder för att följa nya sidospår som dyker upp, innan de är tillräckligt mogna för att bli underlag för nya forskningsansökningar. Jag har också fått personliga anslag från Kungl. Vetenskapsakademien och Stiftelsen för strategisk forskning som varit oerhört värdefulla och hjälpt mig att bygga upp den plattform jag har idag. //



DEN VETENSKAPLIGA ARTIKELN OM ETT BATTERI MED ELEKTRODER av algcellulosa fick enorm uppmärksamhet och ledde till nyhetsinslag över hela världen. Den fintrådiga algen heter grönslick och finns i överflöd bland annat i Östersjön. Den första batteriprototypen laddades upp på tio sekunder och företaget Motorola samarbetar nu med Maria Strømmes grupp för att utveckla en "grön" laddningsbar fjärrkontroll baserad på algbatteriet.

ALLT BÖRJADE MED EN OVÄNTAD OBSERVATION som ledde fram till upptäckten av en hel familj kroppsegna ämnen som reglerar våra celler. Den svenska forskningen inom området har lett till både vetenskaplig ära och enorm nytta i kampen mot olika sjukdomar. Kunskaperna har gett läkemedel som hjälper miljoner människor med bland annat hjärtproblem, grön starr, astma och värk.

NOBELPRISAT biologiskt system som ger oss bättre hälsa



Människor över hela världen kan idag leva ett friskare liv tack vare de oväntade nyttor som kommit ut av grundforskning om prostaglandiner. De styr olika cellfunktioner i kroppen och visade sig ingå i ett helt nytt biologiskt system.

Nya spännande upptäckter kommer fortfarande fram om prostaglandiner, även om forskningen om ämnena startade redan på 1930-talet. Fysiologen Ulf von Euler observerade att något i sädesvätska ledde till sänkt blodtryck och drog samman muskelvävnad i bland annat livmodern. Han kallade det okända ämnet prostaglandin eftersom han trodde att det bildades i prostatakörteln. Idag har fyndet lett till upptäckten av en hel familj av ämnen som bildas i kroppens celler och är en sorts lokala hormoner som påverkar cellens funktioner.

Den unge biokemisten Sune Bergström träffade von Euler på Karolinska institutet och blev nyfiken på upptäckten. Så småningom isolerade han fram olika ämnen ur proverna och bestämde hur de var uppbyggda tillsammans med kollegorna Bengt Samuelsson, Ragnar Ryhage och Jan Sjövall. Tack vare bland annat utveckling av nya analysmetoder kunde de presentera strukturen för sex olika prostaglandiner i början av 1960-talet.

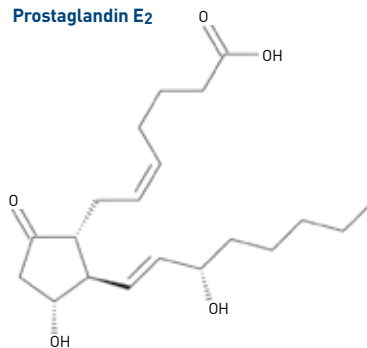
Därmed gick det att ta fram metoder för att tillverka dem i större mängd på laboratorium, istället för att utvinna dem från bland annat sädesblåsor. Forskningen fick nu industriella kopplingar och under 1970-talet distribuerade läkemedelsföretag prostaglandiner till läkare för kliniska försök. Ämnenas medicinska effekter undersöktes under kontrollerade former – något som bidrog till att mängder med olika biologiska funktioner upptäcktes.

Prostaglandiner visade sig reglera och balansera många av kroppens funktioner på cellnivå och de började bland annat användas för att lindra problemen med magsår, starta värkarbetet vid förlossningar och behandla grön starr. Prostaglandiner är även aktiva vid inflammationer, något många värktabletter riktar in sig på genom att blockera att ämnena kan bildas och därmed lindra symtomen.

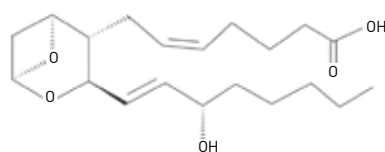
När strukturerna var kända kunde Bengt Samuelsson också visa hur prostaglandinerna bildas från essentiella

ÄMNENA HÄR INGÅR I DEN STORA FAMILJEN av prostaglandiner, tromboxaner och leukotriener som upptäcktes och kartlades inom grundforskning utan någon tänkt klinisk nytta. Forskarna drevs av att bestämma hur ämnena var uppbyggda och hur de bildas i kroppen utan att veta att det skulle ge upphov till mängder av läkemedel. Några exempel är: Trombyl (blodförtunnande medel), Cytotec (behandling av magsår), Celebra (antiinflammatoriskt medel), Minprosting (igångsättning av värkarbetet), Prostivas (akutbehandling av nyfödda med medfött hjärtfel), Xalatan (behandling av grön starr), Singulair (behandling av astma), Ventavis (behandling av nedsatt lungfunktion).

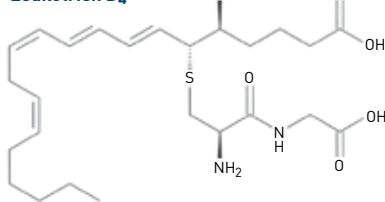
Prostaglandin E₂



Tromboxan A₂



Leukotrien D₄



fettsyror, framför allt arakidonsyra. Det öppnade för att han tillsammans med medarbetare kunde kartlägga och isolera nya prostaglandinliknande ämnen, bland annat tromboxan som bildas i blodplättar. Ämnet stoppar blödningar, men bidrar också till att blodproppar bildas som kan ge stroke och hjärtinfarkt. Upptäckten har lett till utvecklingen av en lågdosvariant av aspirin som miljontals människor världen över tar för att minska risken för blodproppar i hjärta och hjärna.

Ett annat läkemedel som säljs för många miljarder kronor årligen lindrar astma. Det bygger på ytterligare ett steg i Bengt Samuelssons utforskning av ämnenas familjeträd. Han misstänkte i slutet av 1970-talet att det fanns en okänd grupp ämnen besläktade med prostaglandiner och lyckades isolera några kandidater som bildades i vita blodkroppar. Fyndet fick extra tyngd när han under en segeltur i Stockholms skärgård plötsligt insåg att de kunde vara förstadiet till ett ämne han hört om som utlöste astma. Allergiforskare hade ägnat decennier åt att försöka identifiera det, men

Samuelsson och hans medarbetare lyckades med den nya arbetshypotesen på bara några månader visa att deras teori stämde.

De nya ämnena fick namnet leukotriener och de väckte så stora förhoppningar att läkemedelsföretag började utveckla nya astmaläkemedel direkt efter att Samuelsson presenterat upptäckten på en vetenskaplig konferens i Washington 1979. En läxa är att lösningen inte kom från riktad forskning för att förstå till exempel allergiska reaktioner, utan från grundläggande förståelse av biokemiska mekanismer – upptäckter som gjorts utan sikte på någon specifik klinisk nytta.

Den vetenskapliga belöningen för alla upptäckter blev lika stor som nyttan de lett till. Sune Bergström och Bengt Samuelsson belönades med Nobelpriset i fysiologi eller medicin 1982 tillsammans med engelsmannen John Vane som forskat om aspirin. Men fältet är långt ifrån färdigutvecklat. Nya upptäckter ser bland annat ut att kunna ge värktabletter med mindre biverkningar och läkemedel mot åderförkalkning. //

GRUNDFORSKNING „GAV VERKTYGEN FÖR DEN DIGITALA REVOLUTIONEN



Smarta telefoner och datorer är en naturlig del av vår vardag. Skärmen framför oss kan vara en världsomspännande nyhetsbyrå, en ständigt pågående digital fikastund med våra vänner, ett effektivt arbetsverktyg eller ett enormt bibliotek med all upptänklighet underhållning. Alla dessa

funktioner som idag ses som självklara bygger på att vi kan kommunicera snabbt, enkelt och säkert med hjälp av Internet.

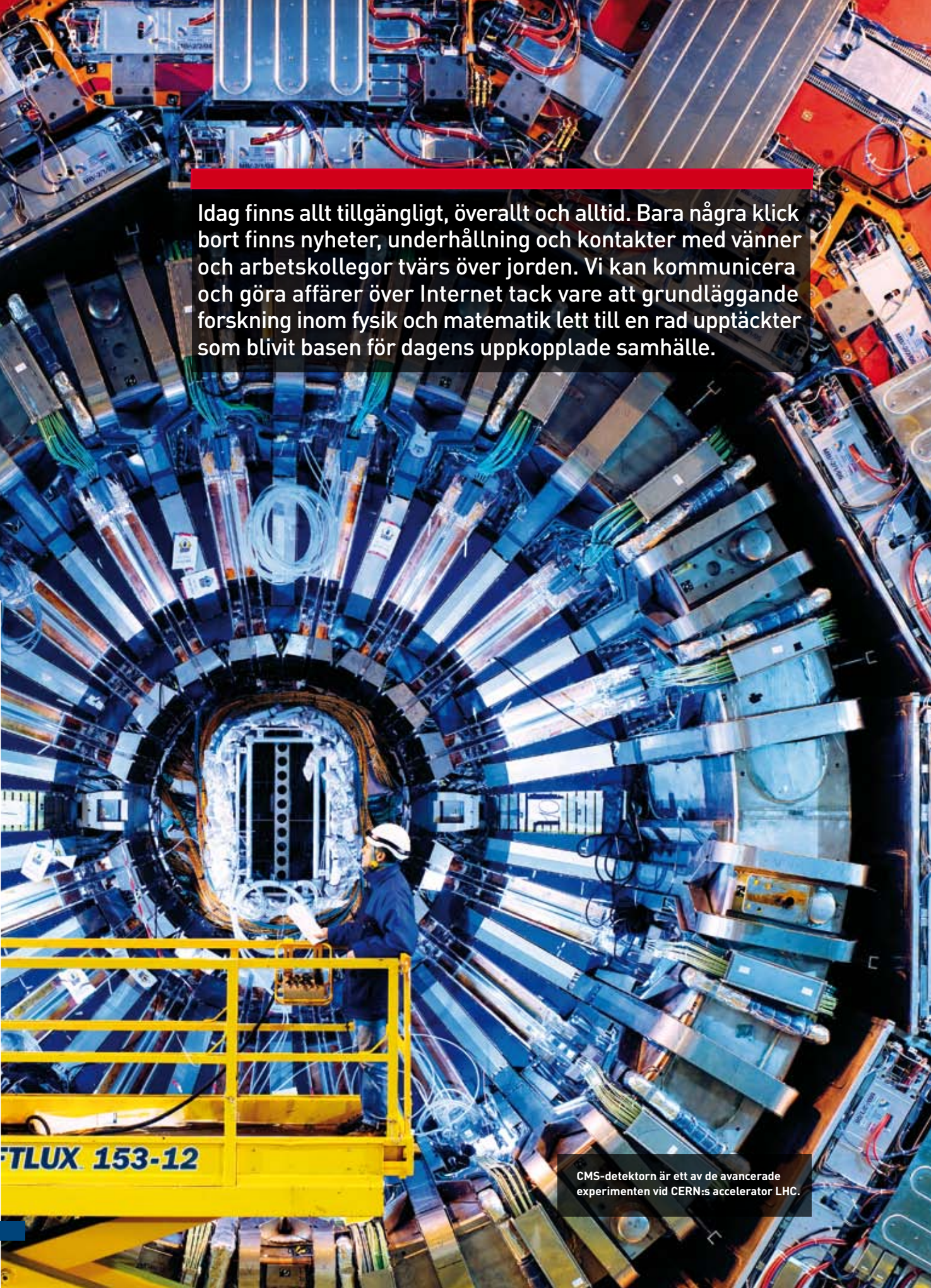
– Idag lyssnar miljoner svenskar på musik med Spotify, köper saker i webbutiker, pratar i telefon med Skype, är aktiva på Facebook, spelar online-spel och tittar på webb-TV. Senast ut att förändras av IT-utvecklingen är nu filmbranschen när vi börjar titta allt mer på film i datorn, förklarar Peter Alvarsson, en av alla nya IT-företagare som sett möjligheterna med den digitala tekniken.

När han för fem år sedan började erbjuda film på nätet var han en i vågen av nya entreprenörer med idéer om hur Internet kunde användas för affärer och att sprida information

och underhållning med kommersiella förtecken. Ett bevis på att vi ligger långt framme i den digitala arbetsmarknaden är att den svenska IT-branschen ökat både omsättning och antal sysselsatta med 25 procent de senaste åren, trots den globala finanskrisen.

Att människor och företag runt om i världen kan utbyta information, handla säkert och skapa arbetstillfällen inom yrken som inte ens fanns för några år sedan beror till stor del på en rad vetenskapliga upptäckter. De kommer från fysiker och kemister som forskat om materiens minsta beståndsdelar och atomers energinivåer, liksom från matematiker som visat upp eleganta beräkningar långt före datorer ens var påtänkta.

Att vi kan hitta bland Internets alla otaliga webbplatser, som tillsammans innehåller uppskattningsvis 1 000 miljarder unika sidor, är till exempel en oväntad nytta av stora projekt inom partikelfysik vid anläggningen CERN i Schweiz. Fysikforskarnas behov av att kunna arbeta tillsammans födde idén att koppla samman digitala dokument med länkar till ett nätverk som gjorde det lätt att orientera sig fram till rätt information. Eftersom tekniken blev så lyckad spred den sig utanför forskarvärlden och gav oss dagens enorma väv som binder samman all digital information. >>>



Idag finns allt tillgängligt, överallt och alltid. Bara några klick bort finns nyheter, underhållning och kontakter med vänner och arbetskamrater tvärs över jorden. Vi kan kommunicera och göra affärer över Internet tack vare att grundläggande forskning inom fysik och matematik lett till en rad upptäckter som blivit basen för dagens uppkopplade samhälle.

FTLUX 153-12

CMS-detektorn är ett av de avancerade experimenten vid CERN:s accelerators LHC.

På kontoret hos Headweb som Peter Alvarsson driver knappar han in företagets webbsida på sin dator för att visa hur man kan söka sig fram bland filmutbudet med tusentals filmer och TV-serier som finns att hyra och se på direkt över Internet. Liksom många tjänster på nätet idag bygger idén på strömmande teknik, där du inte behöver vänta på att filmer, musik eller annat först måste laddas ned utan kan börja spela upp dem på en gång i datorn.

– Från att ha varit en ganska trög marknad går nu uthyrning av online-film snabbt framåt. År 2013 kommer vi enligt bedömningar köpa eller hyra mer film i Norden via nätet än på DVD, förklarar Peter Alvarsson.

Allt mer affärer görs alltså via Internet. Att vi vågar skicka kreditkortsuppgifter när vi betalar för något på olika webbplatser bygger också på grundläggande vetenskapliga upptäckter. Med den senaste säkerhetstekniken krypterar din och bankens dator informationen

som utbyts för att ingen utomstående ska kunna läsa de känsliga uppgifterna. Den sekundschnabba transaktionen bygger på matematik som tänktes ut för flera hundra år sedan då hästkurirer fortfarande var det snabbaste och mest säkra kommunikationsmedlet – långt före att någon kunnat förutse att beräkningarna skulle vara en av de avgörande pusselbitarna i dagens digitala revolution.

En effekt av våra nya vanor att se på film, tala i telefon och lyssna på musik över nätet är att den digitala trafiken ökar snabbt. Basen för att allt fler människor kan utnyttja de nya tjänsterna är att stora mängder data kan skickas mellan

Optiska fibrer har enormt mycket större kapacitet än vanliga kopparledningar och är ryggraden i vår digitala infrastruktur.

datorer, vilket i sin tur bygger på grundläggande fysikforskning om laserljus. All den fiberoptik som är IT-samhällets motorvägar använder extremt snabba laserpulser som skickas i tunna glastrådar. En sändare översätter datorns ettor och nollor till pulserande ljus som snabbt når en mottagare i andra änden av fibern fler mil bort, där ljuspulserna översätts tillbaka igen och kan användas av en annan dator.

– Optiska fibrer har enormt större kapacitet än vanliga kopparledningar och är ryggraden i vår digitala infrastruktur. Att Sverige idag ligger långt framme inom IT är tack vare statliga satsningar som fick alla att köpa subventionerade hemdatorer och gjorde att Telia plöjde ned fiberkablar över stora delar av landet, säger Peter Alvarsson.

Självklart är det inte heller bara underhållning som pulseras fram i världens alla fiberkablar och erbjuds på nätet. I den senaste tidens demokratirevolutioner runt om i världen lyfter många bedömare fram betydelsen av att aktivister kunnat sprida sitt budskap på nätet. På hemmaplan har regeringen satt som mål att Sverige ska bli världsbäst på att använda digitaliseringens möjligheter. Anledningen är att IT-utvecklingen erbjuder nya lösningar i form av exempelvis telemedicin inom sjukvården, smart energireglering av elnäten och uppkopplade fordon för säkrare och effektivare transporter.

Allt tack vare de vetgiriga forskare som utan att veta om det lade grunden för att tekniken nu finns på plats och kan fortsätta att förgylla och förändra vår vardag. //



LASERN HAR GETT LYSANDE TILLÄMPNINGAR

Extremt hög effekt eller exakt frekvens är exempel på egenskaper ljuset kan få i en laser. Förutom att sända data i optiska fibrer används tekniken för allt från att skära och svetsa i stål till att med hög precision göra kirurgiska ingrepp. Laserljus kan också användas för att upptäcka cancer, mäta luftföroreningar, studera kemiska reaktioner eller läsa och bränna CD- och DVD-skivor.

Den amerikanske fysikern Theodore Maiman konstruerade den första lasern 1960 och namnet är en förkortning av Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Tekniken bygger bland annat på forskning från 1950-talet av Charles Townes, Nicolay Basov och Aleksandr Prokhorov som fick Nobelpriset i fysik 1964.

Ingen förutsåg dock att tekniken kunde användas till något vettigt, utan forskningen drevs av nyfikenhet kring det fysiska fenomenet stimulerad emission som Albert Einstein hade visat teorier för redan 1917. Grunden är att atomer som exciterats till en högre energinivå kan styras att avge energin som ljus på ett mycket kontrollerat sätt. Idag har den "onyttiga" lasern blivit ett ovärderligt verktyg inom olika forskningsområden och gett mängder med vardagliga tillämpningar.



på ett enkelt sätt slog den unge datavetaren Tim Berners-Lee som på 1980-talet arbetade vid CERN. Han presenterade 1989 ett förslag för ett system kallat World Wide Web där forskarna skulle kunna samarbeta över Internet via dokument som länkade samman all information med klickbara så kallade hyperlänkar. Varje dokument hade en unik adress som gjorde att det gick att hitta i systemet.

Berners-Lee fick anslag för att utveckla idén och kunde med hjälp av några kollegor visa upp den första webbplatsen i augusti 1991 på CERN. Snart kom webbläsarprogram som gjorde att användare kunde läsa hypertextdokument oberoende av vilken dator och vilket operativsystem de använde. Idag finns det hundratals miljoner webbplatser, fortfarande med bokstäverna www i början av adressen som ett minne av Berners-Lees namn på projektet. Den explosionsartade utvecklingen beror dels på att tekniken är så enkel att du utan speciella förkunskaper kan börja söka dig fram på nätet, dels på att CERN inte kommersialiserade tekniken utan släppte den helt fri.

ANTIK MATEMATIK OCH PRIMTAL BAKOM SÄKRA AFFÄRER

Kryptering används av världens banker för att på ett säkert sätt flytta enorma summor över nätet varje dag. Grunden är talteori som matematikerna Euklides och Pierre de Fermat utvecklade för 2 000 år respektive 400 år sedan. Matematiken fanns på plats när dagens datakommunikation skapade behovet att enkelt kunna skicka känsliga uppgifter utan att någon tjuvlyssnar. Klassisk kryptering går ut på att sändare och mottagare har samma krypteringsnyckel för att koda och avkoda ett meddelande – något som skulle vara svårt att organisera för nätets miljarder användare.

Lösningen blev RSA-kryptering, efter namnen på utvecklarna Ronald Rivest, Adi Shamir och Leonard Adleman. Tekniken används idag på säkra sidor där <https://> inleder webbadressen och finessen är att varje dator har en öppen nyckel som visas upp utåt och en hemlig privat nyckel. Den dator som sänder information använder mottagarens öppna nyckel för att kryptera meddelandet. Den mottagande datorn använder sedan sin privata nyckel för att dekryptera informationen.

Nycklarna är två mycket stora tal som datorn fått fram genom att först multiplicera två stora primtal, alltså tal som bara går att dela med 1 och sig själv. Det går inte dekryptera ett meddelande utan att veta vilka de två primtalen är, vilket alltså bara den mottagande datorn vet. Beräkningarna bakom RSA-krypteringen bygger på Euklides utvidgade algoritm och Fermats lilla sats.

2,3,5,7,11,13,17,19,23,29,31,37,41,43...

FYSIKERNA SOM FÅNGADE NÄTET

Att vi kan surfa runt på Internet är tack vare forskning vid anläggningen CERN utanför Genève. Där arbetar ett stort antal forskargrupper inom partikelfysik med stora datamängder från olika acceleratorexperiment. Många forskare finns bara på plats en kort tid och tar sedan med sig sina data hem för att bearbeta dem vidare runt om i världen.

Behovet av att kunna kommunicera och arbeta tillsammans

vid anläggningen CERN utanför Genève. Där arbetar ett stort antal forskargrupper inom partikelfysik med stora datamängder från olika acceleratorexperiment. Många forskare finns bara på plats en kort tid och tar sedan med sig sina data hem för att bearbeta dem vidare runt om i världen.

Behovet av att kunna kommunicera och arbeta tillsammans vid anläggningen CERN utanför Genève. Där arbetar ett stort antal forskargrupper inom partikelfysik med stora datamängder från olika acceleratorexperiment. Många forskare finns bara på plats en kort tid och tar sedan med sig sina data hem för att bearbeta dem vidare runt om i världen.

Behovet av att kunna kommunicera och arbeta tillsammans vid anläggningen CERN utanför Genève. Där arbetar ett stort antal forskargrupper inom partikelfysik med stora datamängder från olika acceleratorexperiment. Många forskare finns bara på plats en kort tid och tar sedan med sig sina data hem för att bearbeta dem vidare runt om i världen.

www



Hans upptäckt har gjort det möjligt att utveckla testmetoder som hjälpt miljoner allergiker och lett till stor-säljande produkter för svenska företag. Framgångsreceptet enligt forskaren **GUNNAR JOHANSSON** är inte riktad forskning, utan fri vetenskap som kan följa intressanta sidospår och ha informella kontakter med näringslivet.

sig mer om deras grundläggande egenskaper, utan en tanke på specifika tillämpningar.

Vi renade fram proteiner från patienter och en dag dök det plötsligt upp en variant i ett prov som inte betedde sig som de kända immunglobulinerna. Jag och Hans Bennich undersökte fyndet vidare och insåg snart att det hade en alldeles egen struktur och immunologisk karakteristik. Det representerade en helt ny klass av immunglobuliner och fick namnet IgE. Vår upptäckt revolutionerade sedan forskningen om allergier och löste en gåta som läkaren Maximilian Ramirez observerade redan 1919. En av hans patienter fick en allergisk reaktion mot hästar efter en blodtransfusion. Ramirez upptäckte att blodgivaren hade astma och att något som utlöste reaktionen måste ha överförts via blodet – vilket vi alltså visade var IgE.

Gunnar Johansson är professor i klinisk immunologi vid Karolinska institutet och har efter upptäckten av de antikroppar som startar allergiska reaktioner i kroppen ägnat merparten av sin tid åt allergiforskning.

Upptäckten av en ny klass av antikroppar har lett fram till dagens effektiva allergitest, men fanns det några sådana tankar med forskningen från början?

Inte alls, starten var att jag som läkarstuderande tog ett extraknäck på blodcentralen vid Akademiska sjukhuset i Uppsala. Där fanns ett intresse för att rena fram proteiner i blodserum och tillsammans med Hans Bennich på Biokemiska institutionen satte vi upp ett laboratorium för det i början av 1960-talet. Immunglobuliner hade upptäckts i blod. De är proteiner som blir basen för olika antikroppar och hjälper immunförsvaret att identifiera främmande ämnen. Forskningsintresset var att lära

Finns det något samband i att upptäckten skedde i Uppsala där många andra forskningsbaserade produkter inom medicinteknik och läkemedel kommit fram och byggt upp Pharmacia och andra företag?

Ända sedan 1930-talet då Nobelpristagarna The Svedberg och Arne Tiselius gjorde upptäckter inom forskningen om proteiner har Uppsala varit en miljö som stimulerat till att nysta vidare om något oväntat dykt upp i grundforskningen. Det har gett en rad vetenskapliga upptäckter som utvecklats till olika produkter. En viktig del är att det har varit enkelt för forskare och företag att få kontakt. Det finns sedan länge en positiv miljö som gör det lätt att träffas och diskutera möjliga tillämpningar. I den forskargrupp inom allergi som jag senare byggde upp hade vi till exempel veckomöten där även tidigare kollegor som börjat arbeta på olika företag deltog och bidrog med idéer.

Upptäckten på blodcentralen som gett miljardinkomster

Hur såg vägen från forskningsresultaten om IgE fram till en framgångsrik produkt ut i ert fall?

När vi hade lyckats isolera och bestämma strukturen för det nya immunglobulinet började jakten på IgE hos fler personer. Vi undersökte blodprover från hundratals blodgivare och ett prov innehöll överraskande nog halter som var många gånger högre än i övriga prover. Då var närheten till klinisk verksamhet värdefull. Vi tog kontakt med blodgivaren, som var helt frisk förutom att hon visade sig ha allergisk astma. Det ledde oss till att undersöka prover från andra astmatiker – och kopplingen blev solklar. IgE fanns i förhöjd koncentration i nästan alla prover.

Det fanns som sagt kontakter mellan akademien och lokala företag sedan länge i Uppsala. Vi vände oss till Leif Wide vid Akademiska sjukhuset som hade erfarenhet från att ha utvecklat ett känsligt test av hormoner. Tillsammans med Pharmacia utvecklade vi ett allergitest som kunde påvisa och mäta IgE-antikroppar i blodprover hos allergiker. Alternativet,

som användes av allergologer, var pricktester på huden som än idag är väldigt osäkra. Vårt test, kallat RAST, lanserades 1974 och genom att mäta mängden av specifika antikroppar visade det om personen var allergisk och mot vad. Idag används olika varianter av testerna över hela världen och de har dragit in många miljarder kronor till Pharmacia Diagnostics och företagets efterföljare.

Om du utgår från dina erfarenheter, vad behövs i dagens forskningsklimat för att vi ska få nya upptäckter som kan utvecklas till framgångsrika produkter?

Utmaningen är att det är svårt att i förväg veta vad som blir värdefullt, det visar till exempel vår forskning. När vi sökte pengar i slutet av 1960-talet för att kunna fortsätta undersöka vårt nya immunglobulin fick vi avslag från det medicinska forskningsrådet. Senare fick vi veta att en av de tongivande forskarna där hade dömt ut upptäckten som helt ointressant.

Grundforskning av hög kvalitet kan ofta ge värdefulla tillämpningar på sikt, om den som vår forskning om antikroppar ger kunskaper om grundläggande fenomen. Men den får inte vara för styrd. Många finansierares bild av forskning idag är att den ska ta dig till en redan i förväg utpekad punkt. Med den synen får vi inte forskare som är observanta inför oväntade upptäckter och studsar till när ett intressant vetenskapligt sidospår dyker upp. Ofta kan de spåren, som i vårt fall, ge de viktigaste tillämpningarna. //

MED ETT STICK I FINGRET går det att få ett snabbt svar på om man är allergisk mot något. Det enkla allergitestet som går att göra på Apoteket mäter halten av olika IgE-antikroppar mot specifika pollen och pälsdjur. Liksom 70 procent av alla allergitester som görs på laboratorium i världen bygger det på den svenska grundforskningen om immunglobuliner i blod.

Leif Wide, Hans Bennich och Gunnar Johansson 1974 när deras allergitest lanserades.



NÄSTAN ALLT SOM SKER I EN CELL styrs och utförs av olika proteiner. Att kunna studera var och hur alla dessa proteiner är aktiva är ovärderligt för att förstå hur vår kropp fungerar och hur olika sjukdomar utvecklas. Ändå är ett av de mest värdefulla verktygen för just sådana studier inte resultatet av storskaliga satsningar inom biokemi och medicin. Istället bygger det på grundforskning om självlysande maneter.

MANET GAV GRÖNT LJUS FÖR LYSANDE PROTEINFORSKNING



Maneten *Aequorea victoria* skickar ut ljussignaler med hjälp av proteinet GFP. Kanske används signalerna liksom hos andra fluorescerande marina organismer för att förvillia fiender, locka till sig föda eller attrahera en partner.

Processer i celler går idag att följa för att förstå hur olika organ bildas och sedan fungerar. Det går också att i detalj se hur cancertumörer sprider sig eller hur andra sjukdomar förstör viktiga vävnader i kroppen. De här framstegen är möjliga tack vare ett litet fluorescerande protein som det går att få cellen att bygga ihop med de proteiner man vill studera. Därmed signalerar det var proteinerna befinner sig i cellen eller organet och med vilka andra proteiner de växelverkar.

Vad som händer i en cell styrs av tiotusentals olika proteiner med olika funktioner. Genom att på detta sätt ljusmärka aktiviteten av väl valda proteiner går det att följa olika processer i ett vanligt mikroskop. Alternativet för forskarna har tidigare varit att tillsätta olika reagens som binder till rätt protein i en cell eller ett organ och till exempel färgar det för att visa om och var det finns i provet. Det krävde mycket arbete och visade sig ibland vara omöjligt. En stor nackdel var också att det bara gav en stillbild och inte registrerade den levande vävnadens dynamiska förlopp.

Med hjälp av det gröna ledljuset kan forskarna orientera sig i cellens komplicerade värld och få nya kunskaper om olika typer av celler. Därmed ökar chanserna för att tidigt kunna identifiera olika sjukdomar och utveckla läkemedel mot dessa utan besvärande biverkningar.

Att det nu finns ett så lysande verktyg är den japanske marinbiologen och kemisten Osamu Shimomuras förtjänst. Vid Nagoyauniversitetet studerade han på 1950-talet fluorescerande organismer i havet för att förstå vad som fick dem att lysa. Efter några år flyttade Shimomura med sin forskning till Princeton University i USA och började där studera den lysande maneten *Aequorea victoria*. En hel sommar samlade Shimomura in tusentals maneter på den amerikanska



GENOM ATT FÅ NERVCELLER ATT PRODUCERA det grönlysande proteinet GFP kunde Martin Chalfie följa exakt hur nervsystemet utvecklades i den genomskinliga mask han studerade. Fotot som visar nervcellernas grönlysande utskott blev omslagsbild när han 1994 publicerade sina resultat i tidskriften Science.

västkusten. Hans forskning drevs helt av ett nyfikenhet intresse, utan en tanke på eventuella tillämpningar. Men idag vet vi att historien om Shimomuras protein är ett typexempel på hur förut-sättningslös grundforskning kan leda till en oväntad nytta av enorm praktisk betydelse.

Shimomura visade att manetens ytterkant ibland kunde lysa grön eftersom den innehåller ett protein som tar upp blått ljus eller UV-ljus och omvandlar det till grönt ljus. Det isolerade proteinet fick namnet grönt fluorescerande protein med förkortningen GFP.

Det skulle dröja 25 år till nästa steg på vägen mot att GFP skulle bli dagens viktiga verktyg. Steget togs av biokemisten Martin Chalfie. Han forskade om nervsystemet hos den lilla genomskinliga rundmasken *Caenorhabditis elegans*. Denna var en idealisk modellorganism för att studera olika biologiska mekanismer eftersom dess organ gick att se i ett vanligt mikroskop. Chalfie fick höra talas om Shimomuras protein i slutet av 1980-talet på ett seminarium vid Columbia University och insåg direkt att GFP skulle kunna bli ett fantastiskt verktyg och fungera som en lysande signal för olika händelser i maskens olika celler.

Redan dagen efter seminariet ringde Chalfie runt till olika forskare för att lära sig mer om GFP. Idén han fick, och som han lyckades genomföra,

var att med genteknik stoppa in den gen som styr att GFP tillverkas i maskens DNA, precis före generna för de proteiner som är aktiva i utvecklingen av nervceller. När nervcellerna började bildas tillverkades även GFP – och Chalfie kunde följa hur de grönlysande nervcellerna växte fram i mikroskopet.

GFP har sedan dess revolutionerat arbetet för forskare som försöker förstå hur livet utvecklas från ägg till fullvuxen individ och öka kunskaperna om olika sjukdomar. Det lysande proteinet används i allt från genmodifierade möss till fiskar och bananflugor. Färgpaletten forskarna kan arbeta med har dessutom utökats med proteiner som lyser i andra färger än grönt, bland annat av biokemisten Roger Tsien som delade Nobelpriset i kemi 2008 för GFP med Shimomura och Chalfie. Med flera olikfärgade markörer går det till exempel att studera hur olika nervceller flätas samman till hjärnans komplexa nätverk.

GFP används också inom miljöskydd. Genmodifierade bakterier kan markera förekomsten av farlig arsenik i dricksvatten genom att börja lysa grönt. En lite udda avknoppning från forskning om att använda fiskar för att hitta miljögifter i vattenmiljöer är att det nu går att köpa fluorescerande akvariefiskar med GFP. Antagligen blir människor lika fascinerade av de vackert lysande fiskarna som Shimomura blev av maneterna han började studera för femtio år sedan. //

**KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN ÄR EN
OBEROENDE ORGANISATION** som sedan

1739 har arbetat för att främja vetenskaperna och stärka deras inflytande i samhället. Akademien har cirka 420 svenska och 175 utländska ledamöter inom tio olika klasser: Matematik, Astronomi och rymdvetenskap, Fysik, Kemi, Geovetenskaper, Biologiska vetenskaper, Medicinska vetenskaper, Tekniska vetenskaper, Samhällsvetenskaper samt Humaniora och för framstående förtjänst om vetenskap.



**KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN**

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN 2012 // NYTRYCK MARS 2017

Redaktör: Andreas Nilsson/Vetenskapsjournalisterna

Grafisk form & illustrationer: Ingrid Hernvall Creative

Omslagsbild: Petriskål med mögelsvamp av släktet *Penicillium* (iStock)

Bilder: Fotograf Kajsa Kax Wåghals (sid 8, 10, 20, 24, 27), Fotograf Markus Marcetic (sid 13), Fort Photo, iStock, Matton, Scanpix, Getty Images, Jannik Meyer, Frank Vinken, Albert Mihranyan, Maximilien Brice/CERN, Kevin Raskoff.

The cover of Science volume 263 issue 5148 is reprinted with permission from AAAS.

Tryck & repro: Åtta.45. Papper: omslag 200 g Scandia 2000 smooth vit, inlaga 130 g smooth vit.



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES