

Tjærefarvestoffer – tysk kemisk industri erobrer verdens- markedet

Syntetiske farvestoffer dukker op

I 1843 fik Liebig tilsendt en flaske med en olieagtig væske fra en af sine tidligere elever, Ernst Sell, der kort forinden havde startet et tjæredestilleri. Tjære var et restprodukt, der fremkom på de mange gasværker, der dengang skød op som paddehatte ved alle større bysamfund, fordi gas var på vej til at blive den helt dominerende belysningskilde. Gas blev fremstillet ved forgasning af kul; en proces, der foruden gas resulterede i koks – som var et værdifuldt brændsel – og tjære, som man ikke rigtig vidste, hvad man skulle gøre ved. Nok kunne man bruge en smule af dette tyktflydende, organiske materiale til vognsmedelse og lignende, men det forslog så lidt.

Ernst Sells tjæredestilleri var et af de første på kontinentet. Her blev tjæren spaltet i tre forskellige komponenter: en let tjæreolie, der kunne bruges til fremstilling af vandtæt papir, en tungere olie, der kunne sælges som træimprægneringsmiddel, og endelig en næsten fast asfaltlignende komponent. Sell var klar over, at i hvert fald den lette tjæreolie var et sammensat produkt, men da han ikke selv rådede over tilstrækkeligt udstyr til en omfattende kemisk analyse, valgte han at sende det til Liebig for at få det analyseret. Liebig var naturligvis interesseret, og han overlod det til en af sine lovende unge medarbejdere, den førnævnte August Wilhelm Hofmann, at analysere flaskens indhold.

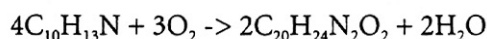
I løbet af de to følgende år (1843-45) foretog Hofmann en serie grundige undersøgelser af den lette tjæreolie. Han påviste herved, at den bl.a. indeholder kulbrinterne benzen (C_6H_6) og toluen ($C_6H_5CH_3$), og han fandt frem til en metode, hvorved disse kulbrinter kunne fremstilles i ren form. Men han standsede ikke her. Ved at nitrere benzen (dvs. påvirke det med salpetersyre) fremstillede han et nyt stof, nitrobenzen ($C_6H_5NO_2$), der atter ved reduktion (påvirkning med jernspåner og saltsyre) resulterede i det organiske stof anilin ($C_6H_5NH_2$). Anilin havde været kendt siden

August Wilhelm Hofmann (1818-1892) var født i Giessen og student hos Liebig, som var meget begejstret over Hofmanns forskningsarbejder vedrørende stenkulstjære. Da en kreds af englændere i 1845 ønskede at oprette et kemilaboratorium efter Liebigs model, fik han derfor på Liebigs anbefaling tilbudt stillingen som leder af »Royal College of Chemistry« i London. Hofmann sagde ja tak, og han kom således til at fungere som læremester for en generation af engelske kemikere, indtil han i 1865 blev udnævnt til professor ved Berlin Universitets nye kemiske institut.



1841, da en tysk kemiker, Otto Frische, fremstillede det ved destillation af det velkendte, men kostbare naturlige farvestof indigo. Hofmanns opdagelse var derfor værdifuld på to måder. For det første blev man nu i stand til at fremstille anilin billigt ud fra affaldsproduktet tjære, og for det andet kunne fremsynede kemikere nu begynde at lege med tanken om at gøre det modsatte af Frische. Altså at fremstille indigo eller andre eftertragtede farvestoffer ud fra anilin – og dermed i sidste instans ud fra tjære.

Det var, mens Hofmann ledede Royal College of Chemistry, at det afgørende gennembrud med hensyn til syntetisk fremstilling af farvestoffer fandt sted. En af Hofmanns elever, William Henry Perkin, havde fået som opgave at arbejde videre med anilin og beslægtede produkter, som kunne fremstilles ud fra tjære. Et af disse stoffer var allyl-toluidin, hvis kemiske bruttoformel er $C_{10}H_{13}N$. Perkin fik den idé, at det muligvis kunne lade sig gøre at fremstille det stærkt efterspurgte feberstillende middel kinin ud fra allyl-toluidin. Den kemiske formel for kinin er $C_{20}H_{24}N_2O_2$, og det var derfor nogenlunde nærliggende at forestille sig, at dette stof kunne dannes ved en iltning af allyl-toluen. I kemisk symbolsprog:



I midten af 1850'erne vidste man ikke ret meget om, hvordan molekylerne var opbygget ud fra de indgående atomer. Der fandtes endog indflydelsesrige naturvidenskabsmænd, som tvivlede på, at atomer og molekyler var andet end tankespind. De fleste accepterede dog den atomare hypotese. Udtrykt i vor tids kemiske sprog var situationen omkring 1855 den, at man kendte de fleste stoffers bruttoformel, men ikke deres konstitutionsformel. Perkins idé var altså temmelig fantasifuld, men der fandtes i hvert fald en rationel begrundelse for det, han gjorde. Nemlig at tage noget allyl-toluidin og lade det reagere med et hyppigt anvendt iltningsmiddel (kaliumdikromat).

Der kom ikke noget kinin ud af forsøget, men derimod et rødbrunt bundfald. Perkin forsøgte sig dernæst med at ilte anilin i stedet for allyl-toluidin, og denne gang fremkom et mørkt bundfald, som heller ikke umiddelbart så ud til at være interessant. Perkin bestemte sig dog for at arbejde lidt videre med disse stoffer – og blev belønnet med næsten øjeblikkelig succes. Han tog noget af det sorte bundfald, blandede det med vand og kogte det, hvorved noget af bundfaldet opløstes og gav en smuk lilla opløsning. En nærmere undersøgelse afslørede, at det kunne farve silke, og det så oven i købet ud til, at farven var vaske- og lysægte. Det næste, han gjorde, var at sende en prøve af stoffet til et kendt farvestoffirma med henblik på at få det grundigt testet. Det skete engang i foråret 1856, og i juni samme år modtog han følgende svar:

»Hvis Deres opdagelse ikke gør varerne for dyre, er det helt bestemt en af de mest værdifulde, der er fremkommet i lang tid. Denne farve er en, som har været meget ønsket i alle vareklasser, og som ikke har kunnet fås farvægte på silkestoffer, og kun under store omkostninger på bomuldsgarner. Jeg vedlægger en prøve på den bedste lillafarve, vi har på bomuld – den laves kun af et farvefirma i England – men selv den er ikke helt farvægte, og den kan ikke klare de tests, som Deres kan ...«

Beer (1959), s. 5

Efter dette opmuntrende svar besluttede Perkin sig – til Hofmanns store fortrydelse – for at afbryde sin universitetskarriere og at satse alt på det nye syntetiske farvestof. Stoffet kaldte han »mauve«, fordi dets farve mindede ham om katostens blomster (katost hedder mauve på fransk). Sammen med sin far og bror dannede han et firma, Perkin & Sons, der godt et år senere var klar til at markedsføre mauve. I den mellemliggende tid var der foregået et stort arbejde med dels at opnå patentrettigheder til processen og dels at

Tema ...

Alizarinsyntesen kom til at markere overgangen til en ny fase i farvestofsyntesens historie, den »målrettede synteseperiode«. I denne fase var det stort set slut med at gøre simple, *empiriske* opdagelser af nye farvestoffer i laboratoriet. Den teoretiske viden om organiske stoffer og deres reaktioner var nu blevet så omfattende, at man for alvor kunne begynde en *systematisk* jagt på farvestoffer, kunstige såvel som naturlige. Inden slutningen af 1800-tallet kunne man tilbyde kunderne syntetiske farvestoffer i næsten alle farvenuancer, og som kronen på værket kom syntesen af indigo, kongen blandt de naturlige farvestoffer.

FAKTA

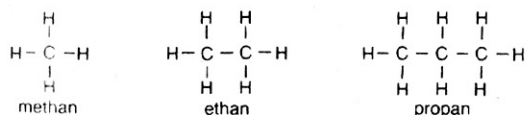
Den kemiske nøgle til syntetiske farvestoffer

Gennem Liebig's og andre kemiker's indsats var man i løbet af første halvdel af 1800-tallet blevet i stand til hurtigt og præcist at måle den mængde kulstof (C), ilt (O), brint (H) og eventuelt også kvælstof (N), der indgik i et vilkårligt organisk stof. F.eks. vidste man, at eddikesyre indeholder 40,0 % C, 6,7 % H og 53,3 % O. Før man herfra kunne slutte, at bruttoformlen for eddikesyre er $C_2H_4O_2$, måtte man imidlertid vide, at atomvægtene for C, H og O er henholdsvis 12, 1 og 16. Det var først omkring 1855-60, at der blev opnået almindelig enighed om disse og andre grundstoffers atomvægte. Altså var det først fra dette tidspunkt, kemikerne var i stand til at angive, hvor mange atomer af hvert af de indgående grundstoffer der findes i et givet stofs molekyler.

Et afgørende gennembrud for forståelsen af,

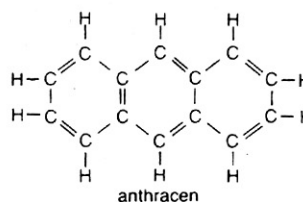
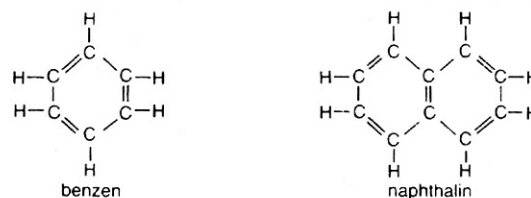
hvordan atomerne er anbragt i organiske molekyler (strukturformlen), kom med Friedrich August Kekulé's strukturteori fra 1857 og hans benzenteori fra 1865. Disse teorier bygger på antagelsen om, at ethvert grundstofs evne til at binde sig til andre atomer kan udtrykkes ved et tal, grundstoffets *valens*. Valensen for brint er 1, for ilt er den 2, for kulstof er den 4. Årsagen til den rige mangfoldighed af organiske forbindelser er blandt andet, at kulstof (der er bestanddel i ethvert organisk stof) har en så høj valens som 4. Allerede i 1865 kendte man over 3.000 organiske forbindelser, i 1880 over 15.000, i 1910 over 150.000 og i dag mange millioner. De fleste af disse stoffer har naturligvis yderst komplicerede strukturformler, men alligevel er der kun forholdsvis få væsensforskellige grundtyper, for eksempel:

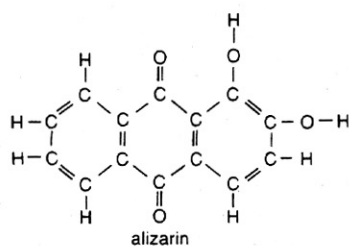
A. Lineære kulstofkæder som metan, ethan, propan etc:



Farvestofferne, såvel de naturlige som de syntetiske, består i det væsentlige af et ringformet kulstofskelet, hvor nogle af de ydre H-atomer er erstattet med andre grundstofatomer eller atomgrupper. Strukturformlen for det vigtige farvestof alizarin er således:

B. Ringformede kulstofkæder, hvis ene grundtype er benzen:

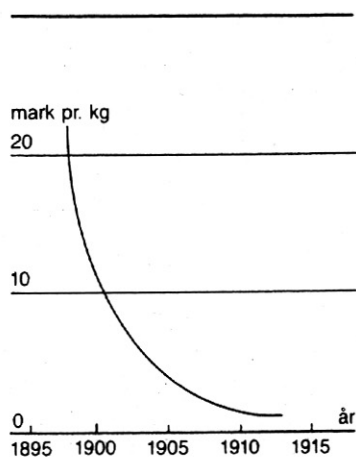




hvilket ses at minde stærkt om antracen, der er et let opnåeligt tjæredestillat. Man kan derfor

gætte på, at det vil være en god idé at tage udgangspunkt i stoffet antrazen, hvis man ønsker at syntetisere alizarin billigt. På forhånd er der ingen garanti for, at det vil lykkes, men sandsynligheden for succes er uendelig meget større, end hvis man leder i blinde. Dette eksempel belyser rigtigheden af, hvad den tyske kemiker Heinrich Caro sagde om Kekulé's teori: »I det eksisterende skabte den orden, over det fremtidige kastede den lys.«

Petersen (1982), s. 413



Prisfaldet på indigo i perioden fra syntetisk indigo kom på markedet i 1897 indtil 1913.

(Kilde: Osteroth (1985), s. 93)

En mulig indigosyntese blev påvist allerede i 1870, men den var for kostbar til at have praktisk interesse. Først i 1897, efter mere end tyve års målbevidst forsknings- og udviklingsindsats, var en stor tysk kemisk virksomhed (Badische Anilin- und Sodafabrik) i stand til at markedsføre syntetisk indigo. Omkostningerne havde været enorme, omkring 18 mio. mark (der af BASF anslås at svare til over 2 mia. euro i vore dages penge), men gevinsten var endnu større: i 1897 havde verdensproduktionen af (naturligt) indigo en værdi af 80 mio. mark, hvoraf Tyskland importerede for 27 mio. Allerede tre år efter, i 1900, kunne Tyskland dække hele sit eget forbrug med syntetisk indigo og desuden eksportere for 25 mio. mark, et tal der voksede år for år indtil 1. Verdenskrig brød ud. Men længe inden da var det naturlige indigo udkonkurreret, og de indiske indigodyrkere havde på deres krop erfaret, hvor uhyre sårbare kolonilandenenes råvareproducenter var (og stadig er) over for ændringer i efterspørgslen fra ilandenenes råvareftagere.

Den tyske farvestofindustri bliver verdens førende

Med firmaet Perkin & Sons' markedsføring af det syntetiske farvestof mauve i 1857 fik den engelske organisk-kemiske industri en ønskestart. Det samme gjorde den franske, for det var et fransk foretagende, der i 1859 kom først med det beslægtede røde farvestof, fuchsin. At England og Frankrig dominerede blev tydeligt markeret ved verdensudstillingerne i henholdsvis London (1862) og Paris (1867), hvor disse to lande løb med næsten alle de priser, der uddeltes inden for det nye felt: syntetiske farvestoffer. Den tyske farvestofindustri var beskeden og endnu ukendt uden for landets grænser, men det skulle snart ændre sig. Allerede i midten af 1870'erne var værdien af den tyske syntetiske farvestofproduktion større end Englands og Frankrigs tilsammen. Omkring 1880 stod

Tyskland for halvdelen af verdens samlede produktion, og fra 1900-1913 sad Tyskland på over 90 % af verdensmarkedet. En enestående tysk succes og en lige så eklatant engelsk/fransk fiasko.

Det kan forekomme ejendommeligt, at England fuldstændigt mistede initiativet på farvestofområdet i betragtning af, at det var verdens helt dominerende tekstilproducent – og dermed også udgjorde langt det største marked for farvestoffer. Man kunne have forventet, at den engelske regering eller den engelske tekstilindustri ville gøre alt for at forhindre, at farvestofindustrien kom på tyske hænder. Men det skete ikke.

I virkeligheden var den tilsyneladende succesrige engelske farvestofindustri i 1860'erne en kolos på lerbædder. De engelske firmaer var forholdsvis små, og i den udstrækning de overhovedet havde ansat videnskabeligt uddannede kemikere, var det enten tyskere eller englændere, der var trænet af tyske kemikere. Vi er tidligere stødt på Hofmann, men på samme tid fandtes der adskillige andre fremragende tyske kemikere i England. De var søgt til England i 1850'erne og begyndelsen af 1860'erne, fordi de på daværende tidspunkt ikke kunne finde arbejde i Tyskland. Efterhånden som situationen blev forbedret i Tyskland, vendte de fleste dog hjem igen for at blive ledere af store kemiske laboratorier ved tyske universiteter og tekniske højskoler eller i den tyske farvestofindustri. Denne »hjerneflugt« blev alvorlig for England efter 1870, fordi udvikling og produktion af de meget mere raffinerede farvestoffer fra den »målbevidste synteseperiode« forudsatte tilstedeværelsen af højtuddannede kemikere. Og dem var der næsten ingen af i England, da tyskerne var rejst. Den engelske statsmagt havde forsømt at lade uddanne kemikere, mens tid var, og de få, der fandtes, havde ringere arbejdsbetingelser end deres kolleger i Tyskland. Den engelske statsmagt havde tradition for at føre en »laissez faire-politik«, hvor det økonomiske initiativ blev overladt til borgerne. Generationer af praktisk uddannede og initiativrige engelske igangsættere havde gjort England til verdens rigeste land ved at satse på interessante, jordnære projekter, ikke ved at investere i projekter, der var stærkt risikobetonede, byggede på akademisk viden og i bedste fald kunne forventes at give et afkast på lang sigt.

I Tyskland var indstillingen en anden. Her fandtes en aktiv statsmagt, som bevidst satsede på at bringe landet ud af århundreders stagnation. Midlet var en kraftig industrialisering, og staten greb regulerende og planlæggende ind i alle overordnede økonomiske forhold, f.eks. i udbygningen og moderniseringen af landets infrastruktur og uddannelsessystem. Denne indirekte erhvervsstøtte var kraftigt medvirkende til, at der mellem 1860 og 1870 blev grundlagt en lang række små tyske firmaer, der forsøgte at få an-

holde øje med, om den enkeltes forskningsaktivitet var tilfredsstillende og udviklede sig i den ønskede retning.

Bernal (1953), s.151

Forskningslaboratorierne, som de således kom til at fungere omkring 1900, betød at »selv opfindelser blev industrialiseret«. Borte var tidligere tiders isolerede opfinder som f.eks. Perkin, der tilfældigvis snublede over en sensationel opdagelse og selv udviklede ideen frem til et salgbart produkt. Efter etableringen af industriforskningslaboratorierne blev opfindelse og udvikling resultat af en højt specialiseret ekspertgruppes koordinerede indsats. Opfindelse og udvikling blev et teamwork, hvor en række personer med forskellige specialer indgik i et symbiotisk samarbejde om et konkret projekt af langt større omfang, end nogen enkeltperson eller lille gruppe kunne overkomme.

DuPont i USA

Det multinationale amerikanske firma DuPont blev grundlagt i 1802 af en fransk indvandrerfamilie. I de første 100 år af firmaets eksistens beskæftigede dets ejere sig stort set kun med at fremstille og sælge krudt og andre eksplosiver, i 1902 således sortkrudt, røgfrit krudt og dynamit. Netop i jubilæumsåret blev det gamle familiefirma overtaget af en yngre generation, der ønskede at ekspandere firmaet ved at starte en produktion af helt andre produkter. Som led i denne strategi blev der købt et par kemiske virksomheder, samtidig med at der blev oprettet et forsøgslaboratorium, som skulle være med til at udvikle nye produkter. Der var ikke tale om, at laboratoriet skulle bedrive egentlig grundforskning, det overlodes til universiteterne, men snarere målrettet forsknings- og udviklingsarbejde.

Det afgørende gennembrud for firmaet kom med Første Verdenskrig. Selv om USA først indtrådte i krigen i 1917, skulle den amerikanske hær oprustes for at være beredt på alle eventualiteter, og det betød en stærkt stigende efterspørgsel efter firmaets traditionelle hovedprodukter, krudt og dynamit. Bortfaldet af de tyske leverancer af farvestoffer til USA fik desuden DuPont til at kaste sig ud i et halsbrækkende forsøg på hurtigt at kopiere et udvalg af de tyske produkter med henblik på at kunne overtage leverancerne til det enorme amerikanske marked. Trods mange problemer undervejs lykkedes strategien så godt, at DuPont kom ud af krigen som et af verdens største kemiske foretagender og med et betydeligt bredere varesortiment, end det havde behersket før 1914. En heldig investering i bilfabrikken General Motors og udvikling af specielle typer lak til de mange nye biler øgede yderli-

gere firmaets indtjening, så det i midten af 1920'erne var et af USA's bedst konsoliderede foretagender.

I denne for firmaet så lyse situation sendte forskningsdirektøren Charles Stine den 18. december 1926 et forslag til firmaets direktion gående ud på, at firmaet nu også burde begynde at drive grundforskning. Hidtil havde firmaets forsøgslaboratorium kun anvendt kemisk viden, som andre havde fundet frem til, men Stine var af den opfattelse, at laboratoriets ansatte derfor ofte manglede en virkelig forståelse af det naturvidenskabelige grundlag for det, de foretog sig. De vidste, hvordan ting skete, men ikke hvorfor de skete. Stine forsøgte at overbevise ledelsen om, at hvis man i firmaet havde en bedre forståelse af de fundamentale principper bag de kemiske reaktioner, man arbejdede med, ville firmaet kunne designe og udvikle bedre produkter og processer.

Som følge af firmaets gunstige økonomi bevilgede ledelsen et beløb på 300.000 dollars årligt til »fundamental forskning«, et udtryk den foretrak frem for grundforskning, der måske smagte for meget af universitet. Dermed kunne Stine gå i gang med at rekruttere dygtige unge kemikere og kemiingeniører til et nyt forskningslaboratorium, der hurtigt blev kendt på DuPont under betegnelsen »Purity Hall«.

En af de nyansatte var den kun 31-årige kemiker Wallace H. Carothers, der i februar 1928 kom fra Harvard, et af USA's fineste universiteter. Carothers havde været meget skeptisk, men lod sig dog overtale, da han fik tilbudt en løn, der var næsten det dobbelte af, hvad Harvard kunne tilbyde ham, samt løfte om fuld frihed til at dyrke sine videnskabelige interesser. Det var ham, der fik til opgave at opbygge en forskergruppe i organisk kemi, og efter samråd med Stine besluttede Carothers, at forskningen især skulle dreje sig om polymer-forbindelsers kemi. På dette tidspunkt var DuPont nemlig blevet meget interesseret i de store molekyler, der kaldes polymerer, fordi nogle af firmaets nyeste og mest solgte produkter, cellofan og rayon, var baseret på cellulose, der er et naturligt polymer.

I løbet af de kun ni år, Carothers var ansat ved DuPont, præsterede han og hans polymergruppe ikke mindre end to opdagelser, der hver især fik enorm betydning, ikke bare for firmaet DuPont, men for almindelige menneskers dagligdag. I stedet for at give sig til at studere cellulose med henblik på at fastlægge dets detaljerede molekylstruktur, besluttede Carothers, at hans forskergruppe hellere måtte bruge tiden på at forsøge at opbygge helt nye, kunstige polymerer. Allerede inden han var flyttet til DuPonts hovedkvarter i New Jersey, sendte han et brev til en af Stines medarbejdere, hvori han luftede sin dristige ide: »Jeg har længe håbet,

del i det hastigt voksende marked for syntetiske farvestoffer.

Når det overhovedet var muligt for tyske firmaer at tage kampen op mod de veletablerede engelske og franske virksomheder på området, hang det sammen med, at der dengang næsten ikke fandtes nogen patentbeskyttelse i Tyskland. Hvis et firma på en eller anden måde (f.eks. ved industrispionage) havde fået fat i opskriften på et farvestof, kunne det derfor uden videre gå i gang med at producere og sælge det uden at behøve at frygte for retsforfølgelse. Den tyske farvestofindustri kopierede i første omgang de mere avancerede engelske og franske firmaer, der selv havde udviklet deres produkter. Startomkostningerne var således små, hvilket betød, at mange kunne være med. Til gengæld blev konkurrencen på det tyske marked meget hård, kun de mest effektive firmaer og de firmaer, der var i stand til at forny sig, kunne gøre sig håb om at overleve. Det fremgår af, at i perioden mellem 1862 og 1867 voksede værdien af de syntetisk fremstillede farvestoffer med en faktor 3 til trods for, at prisen pr. kg faldt drastisk. Og det fremgår af, at i samme periode ophørte produktionen af 4 syntetiske farvestoffer, mens 11 nye kom på markedet. Mange tyske farvestoffirmaer fik kun en kort tilværelse, men nogle overlevede og en lille håndfuld voksede sig til store verdensfirmaer, som eksisterer den dag i dag. Det drejer sig først og fremmest om tre:

Bayer & Co blev grundlagt i 1861 og startede naturligvis med at producere simple anilinfarver, først og fremmest fuchsin. Fra 1872 begyndte det at producere alizarin.

Hoechst (der oprindeligt hed Meister, Lucius & Bruning) påbegyndte produktionen af fuchsin i 1862 og var med i alizarinproduktionen fra starten.

Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF) startede med at producere soda og anilinfarver i 1861. Dette firma var også med i alizarinproduktionen fra begyndelsen og kom først med syntetisk indigo i 1897.

De fleste af de succesfulde tyske farvestoffirmaer blev etableret i et samarbejde mellem en handelsmand, der rådede over kapital, og en kemiker, der stod for produktionen. Kemikere var der nok af i Tyskland i modsætning til i England. Liebig's indsats havde båret frugt, faktisk så meget at det en overgang blev anset for et betydeligt problem. Således skrev den kendte tyske kemiker Friedrich Wohler i 1862 til Liebig:

»Hvad skal der blive af alle dem, som nu dyrker kemi? Alle laboratorier er fulde; her i Göttingen arbejder i dette semester 116 i de tre laboratorier, hos mig 76, hos Boedeker 20 og hos Wick også 20!«

Wöhler kunne have sparet sig sine bekymringer. Den opvoksende tyske farvestofindustri fik fra slutningen af 1860'erne brug for masser af kemikere. De firmaer, der havde overlevet, var klar over betydningen af vækst og fornyelse, og hertil krævedes både kapital og medarbejdere med en solid videnskabelig uddannelse.

Alizarinsyntesen og alizarinproduktionen blev det afgørende vendepunkt i forholdet mellem den tyske og den engelske farvestofindustri. Ganske vist kom Perkin & Sons først ud med syntetisk alizarin (1869), men kun få måneder efter kunne BASF og Hoechst følge trop. Og ganske vist havde Perkin & Sons den største produktion i de allerførste år, men den tyske produktion var bedre og billigere, og overhalede hurtigt den engelske.

Tysk og engelsk alizarinproduktion (i tons) 1870 -1873

År	Tyskland	England	Pris (mark/kg)
1870	1	40	250
1871	150	220	
1873	1000	435	120
1878			23

(Kilde: Cipolla (1973) s. 244 og Osteroth (1985) s. 92)

Selv om prisen på syntetisk alizarin faldt drastisk, var alizarinproduktionen alligevel en meget profitabel forretning. Faktisk var alizarinproduktionen gennem mere end 20 år en sikker indtægtskilde, som de tyske firmaer benyttede til at finansiere deres mere risikobetonede og langsigtede forsknings- og udviklingsprojekter. Nogle af de engelske firmaer handlede helt anderledes. For eksempel trak Perkin sig i 1874 i en alder af kun 35 år tilbage fra aktiv tjeneste i sit firma for at leve af den formue, han havde skabt sig; et hårdt slag for den engelske kemiske industri, der med ham mistede en af de få kemikere, der kunne hamle op med tyskerne.

Tyskland var fra omkring 1875 suverænt verdens førende nation mht. kemisk teknologi i almindelighed og farvestofteknologi i særdeleshed. Et vidnesbyrd herom er, at imellem 1886 og 1900 udtog de 6 førende tyske firmaer 948 britiske patenter på farvestofområdet, de 6 største britiske firmaer udtog i samme periode kun 86. Et andet vidnesbyrd er mindst lige så slående. I år 1900 beskæftigede de 6 største tyske farvestoffirmaer over 500 kemikere. På samme tidspunkt var antallet af kemikere i hele den engelske farvestofindustri under 40 – og disse var oven i købet ringere uddannet end de tyske. Intet under derfor at Tyskland erobrede verdensmarkedet.



at det vil være muligt at tackle dette problem fra den syntetiske side. Ideen er at opbygge nogle meget store molekyler ved hjælp af simple og præcise reaktioner på en sådan måde, at der ikke kan være tvivl om deres struktur. Ideen er uden tvivl lidt fantastisk ...»
[Hounshell og Smith (1988), s. 231]

Selv om ideen forekom selv Carothers at være fantastisk, forfulgte han den indædt i de følgende år. I april 1930, efter to års forløb, kom det første store gennembrud, da hans gruppe syntetiserede neopren, et stof, der var kemisk analogt til naturgummi. Få uger senere kom det næste gennembrud, da gruppen havde held til at syntetisere et stof med molekylvægt over 12.000, som kunne trækkes ud, så den dannede lange fibre. Analyser viste desværre, at stoffet ikke kunne bruges som erstatning for naturlige tekstilfibre, for smeltepunktet var under 100 grader. Ikke desto mindre var Carothers og Stine enige om, at de var på sporet af noget stort, så arbejdet fortsatte både i »Purity House« og i firmaets udviklingsafdeling med de stoffer, der snart blev kendt under navnet nylon.

Både neopren og nylon måtte gennem mange års udviklingsperioder, som kostede firmaet DuPont henholdsvis 2,5 og 4,3 millioner dollars i udviklingsomkostninger. Neopren var ikke bare et mirakelprodukt, der med et slag kunne fortrænge naturgummi på alle dets anvendelsesområder. DuPont fandt snart ud af, at det både var nødvendigt og ønskeligt at tilpasse produktet efter de forskellige potentielle anvendelsesmuligheder. Ved at ændre neopren-polymerets struktur, f.eks. ved at tilsætte forskellige kemiske stoffer under fabrikationen, kunne man fremstille neopren-produkter, der med fordel kunne erstatte naturgummi i gummislanget, handsker og skosåler, og efterhånden også i hundredvis af andre anvendelser. I 1939 var DuPont kommet op på at producere ca. 2 millioner kg neopren til allehånde formål, men Anden Verdenskrig medførte en så dramatisk forøgelse af efterspørgslen, at produktionen i 1944 nåede 60 millioner kg, altså en produktionsforøgelse med en faktor 30 på kun fem år.

Nylon var en endnu større satsning fra DuPonts side. Udviklingsarbejdet fik fuld fart på i 1934, da DuPonts ledelse på grundlag af en markedsundersøgelse vurderede, at lette damestrømper af nylon ville kunne erobre en betydelig del af det 70 millioner dollars årlige marked for silkestrømper i USA. I forbindelse med verdensudstillingen i New York i 1938 kunne Stine udsende den officielle meddelelse til alverdens kvinder, om at fremtiden nu var lige om hjørnet:

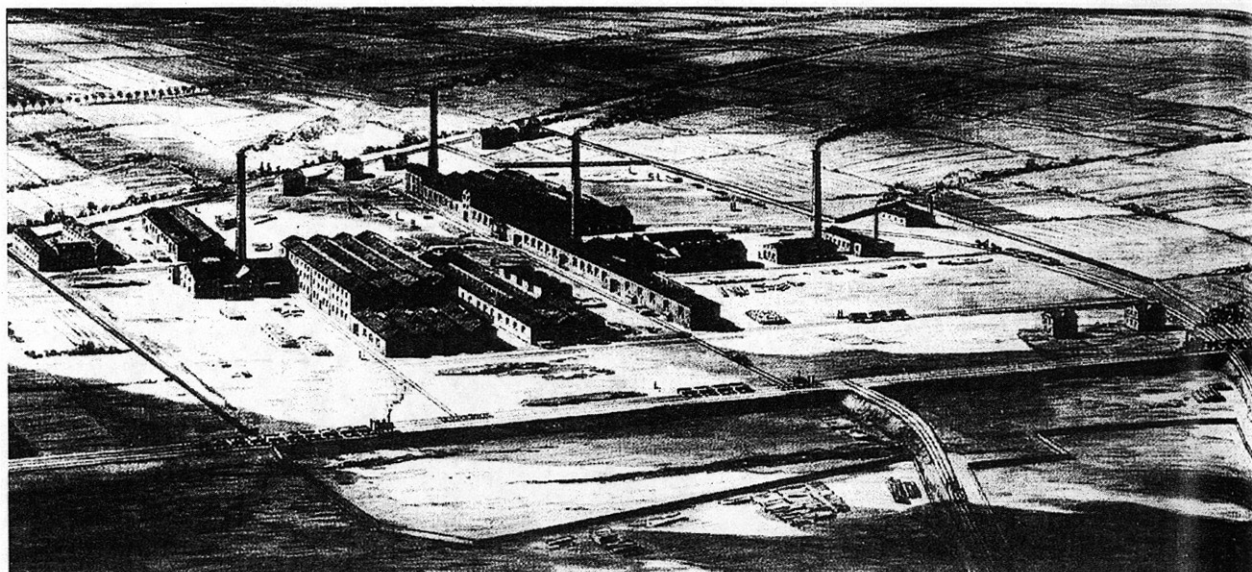
ganiske fiber, der er lavet af helt nye materialer fra det mineralske rige. Jeg hentyder til en fiber lavet af nylon [...]. Skønt den helt igennem er lavet af almindelige råmaterialer som kul, vand og luft, kan nylon formes til tråde, der er stærke som stål, så fine som spindelvæv, og alligevel mere elastiske end nogen af de sædvanlige naturfibre.«

Da alle aviser skrev vidt og bredt om det nye vidunderstof, er det måske ikke underligt, at kvinderne stod i lange køer og ventede, da nylonstrømper endelig kom på markedet den 15. maj 1940. Og selv om påstanden om, at nylon er stærkt som stål måske ikke helt harmonerede med mange kvinders smertelige erfaringer, er det en kendsgerning, at nylonstrømper var kommet for at blive. Alene firmaets fortjeneste i sidste halvdel af 1940 var nok til at dække de foregående fem års udviklingsomkostninger, en forrygende succes, der hos DuPont skabte en overbevisning om, at store investeringer i fundamental forskning altid vil betale sig på langt sigt. I de følgende årtier fulgte DuPont denne opskrift, der meget sigende kom til at hedde »nylonmodellen« for innovation.

Afslutning

Den syntetiske farvestofindustri påstås ofte – i lighed med den elektriske industri – at være et skoleeksempel på en industri, der ikke ville være kommet i gang uden forudgående naturvidenskabelige fremskridt. Til en vis grad er dette rigtigt: uden Liebig-elevernes ballast af kemisk viden og erfaring i omhyggelig kemisk analyse ville chancerne næsten have været lig nul, for at en eller anden ved et tilfælde skulle slumpe sig til at fremstille et syntetisk farvestof. Men samtidig bør det understreges, at i de syntetiske farvestoffers første fase (anilinfasen) var det kun den generelle kemiske erfaringsbaggrund, der var væsentlig. Udviklingen foregik empirisk. Der fandtes ingen anerkendt og slagkraftig kemisk teori, der kunne vejlede opfinderne i denne fase.

Alt dette blev anderledes, efter at Kekulés benzenteori fra 1865 havde givet kemikerne den ledestjerne, de havde savnet. Fra dette tidspunkt indledtes »den målbevidste synteseperiode«, hvor kemikerne bevidst forsøgte at syntetisere farvestoffer med helt specielle egenskaber. Først fra dette tidspunkt kan man tale om, at farvestofindustrien for alvor var blevet videnskabsbaseret. Der kom til at gå yderligere 20-30 år, før de store tyske farvestofkoncerner havde udviklet den institution, der kom til at betyde den stadige og tætte sammenknytning mellem videnskab og teknologi: industri-



Disse billeder af BASF's fabriksanlæg ved Ludwigshafen i henholdsvis 1863 og i 1881 modsatte side vidner om en voldsom ekspansion i den mellemliggende periode.

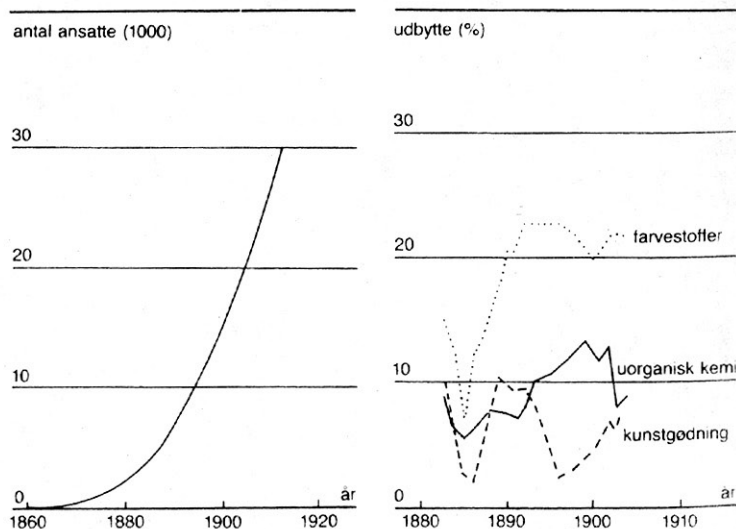
Næsten alle de store tyske kemiske virksomheder blev anlagt ved Rhinen for at mindske transportomkostningerne og for at skaffe vand til dækning af det store vandforbrug i produktionen. Men også for at kunne komme af med affaldet på en let måde. Forurening af Rhinen er ikke noget nyt fænomen!

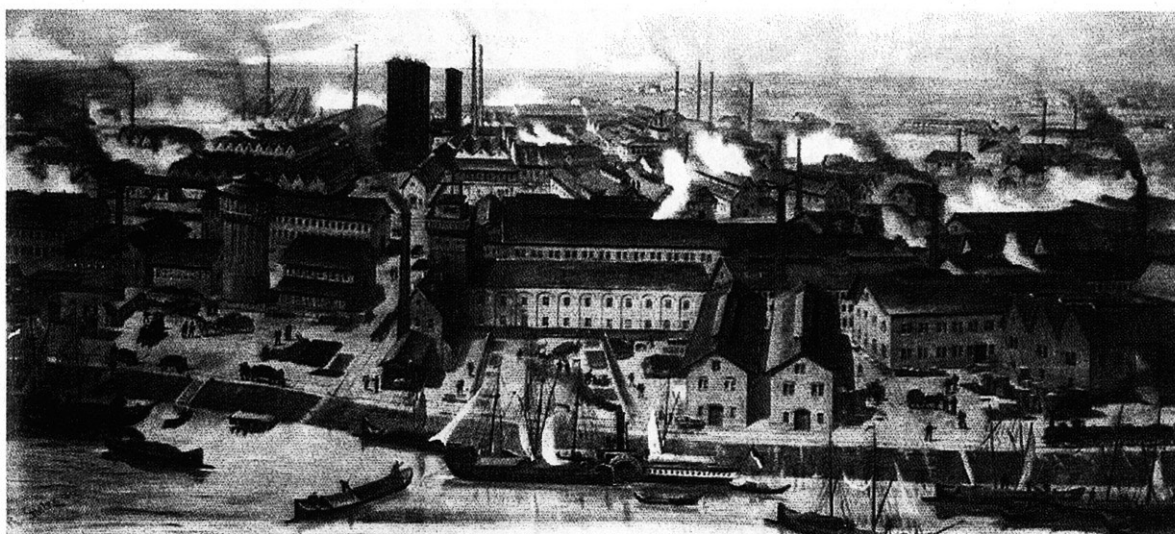
I august 1914 begyndte Første Verdenskrig. Næsten fra den ene dag til den næste beordrede den tyske regering farvestoffabrikkerne til at omlægge deres produktion til sprængstoffer og andre kemiske produkter, der var nødvendige for krigsførelsen (tyskerne var de første til at tage giftgas i brug). Desuden stoppedes den tyske eksport af farvestoffer til hele verden. Den tyske regering håbede med dette skridt at fremkalde en krisetilstand i specielt England og Frankrig, fordi disse lande var afhængige af importen fra Tyskland. Men den tyske strategi mislykkedes. Nok fremkaldte det tyske eksportstop en alvorlig mangelsituation hos modstanderne, men farvestoffer var ikke ubetinget livsvigtige. Eksportstoppet fik desuden den virkning, at USA og England forcerede udviklingen af deres egne, hidtil forsømte, kemiske industrier. Da krigen slut-

(a) Antallet af ansatte i den tyske kemiske industri voksede kraftigt i årene fra 1863 til 1913. Her antallet af beskæftigede i de tre største tyske farvestoffirmaer: Bayer, Hoechst og BASF.

(b) Kurver over årlige aktieudbytter demonstrerer, at den tyske farvestofindustri var meget profitabel også i sammenligning med andre tyske kemiske industrier.

(Kilde: Haber (1958), s. 131-134 og 174)

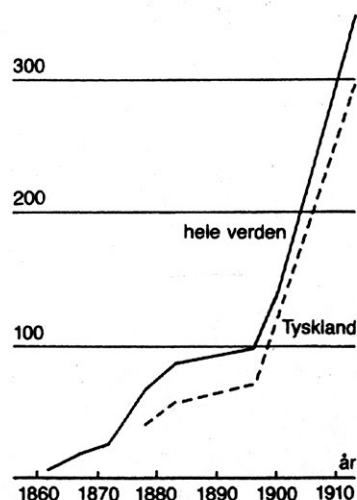




Modebillede fra Berlin, 1872. De nye syntetiske anilinfarver blev meget populære, og ikke mindst damemoden blev påvirket af, at der nu fandtes et væld af farvenuancer, man aldrig før havde kendt. Nogle af de nye farver viste sig at være giftige, og der blev verden over rapporteret om en række alvorlige forgiftningstilfælde.

tede i 1918, havde den tyske kemiske industri derfor ikke længere et de facto monopol på farvestoffer, selv om den hurtigt igen blev dominerende på verdensmarkedet. Det var i et forsøg på at gene-

mio. mark



Anslået værdi af verdens syntetiske farvestofproduktion i perioden 1862-1913 samt Tysklands andel heraf. Den tyske dominans var endnu større, end det fremgår af kurverne, for en betydelig del af de farvestoffer, der ikke var fremstillet i Tyskland, produceredes i virkeligheden på tyskejede fabrikker i udlandet eller fabrikker, der producerede i henhold til tyske licenser. (Kilde: Haber (1958), s. 128)



Kig ind i BASF's indigofabrik i Ludwigshafen, ca 1900. Produktionen foregår i store beholdere, der er forsynet med låg med inspektionsglas, hvorigennem kemikere kan holde øje med, om processen forløber, som den skal.

robre førkrigsmonopoler, at alle betydelige tyske farvestoffirmaer i 1925 sluttede sig sammen i det berømte og berygtede I.G. FAR-BEN, måske det største og stærkeste privatejede kartel, der nogensinde har eksisteret. Det var dette farvekartel, der sammen med stålkartellet domineret af firmaet Krupp mere end noget andet skabte Tyskland et teknologisk forspring op gennem 30'erne. Det var dette kartel, som gennem udvikling og produktion af syntetisk benzin og gummi kunne skaffe Hitler den livsnødvendige erstatning for de afbrudte forsyninger under Anden Verdenskrig. Og det var dette kartel, som leverede giftgassen, der kom til at betyde millioner af menneskers død i de tyske koncentrationslejre i årene fra 1941 til 1945.

Farvestofproduktion (i 1000 tons)

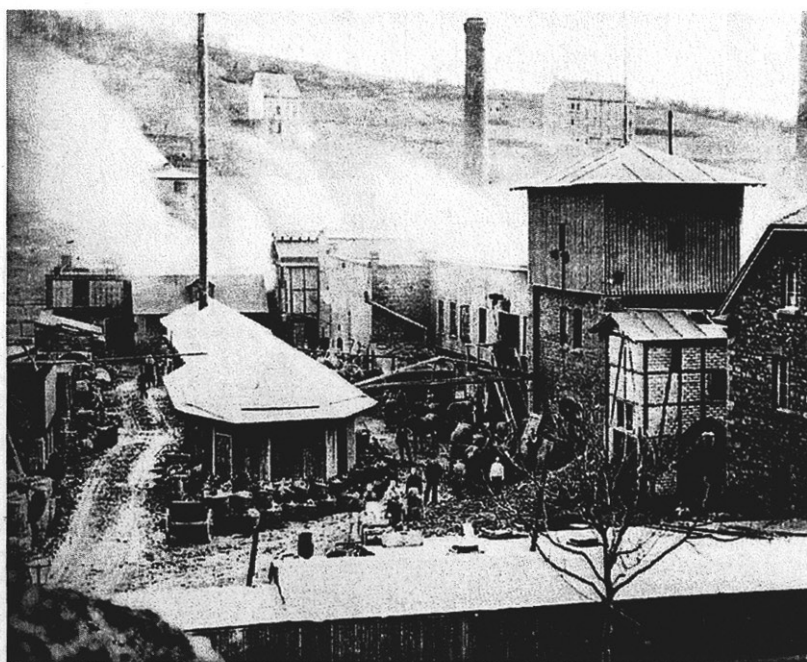
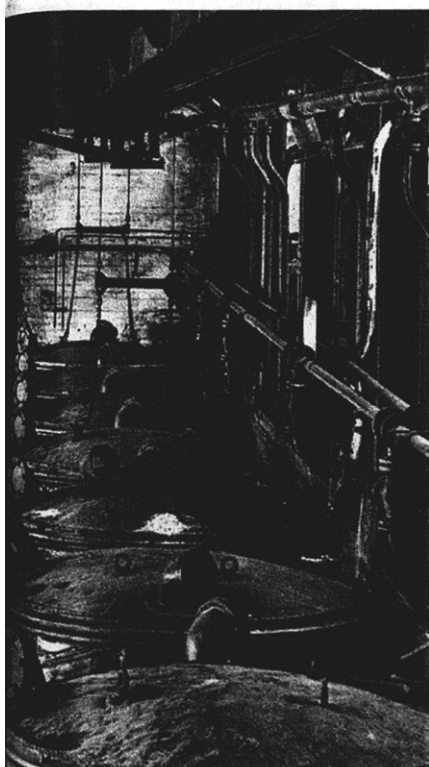
Land	1923	1928
Tyskland	65	74
USA	42	43
England	15	23
Frankrig	11	15

(Kilde: Haber (1971), s. 329)

Kemiske industriforskningslaboratorier

Bayer i Tyskland

I årene efter 1880 skete der en nydannelse inden for tysk kemisk industri: etablering af industriforskningslaboratorier ved de store



Arbejdet på de kemiske fabrikker var hårdt, beskidt og farligt. Endnu omkring år 1900 var arbejdstiden ved BASF fra 6 morgen til 6 aften (med to timers pause i dagens løb). Der var så godt som ingen arbejderbeskyttelse og ulykkesrisikoen var ifølge en engelsk undersøgelse fra 1902 mere end dobbelt så høj som for fabriksarbejde i almindelighed.

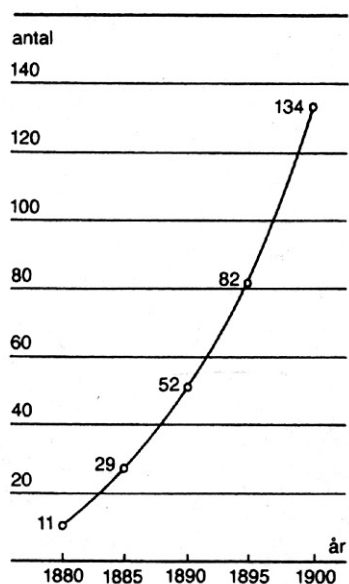
Dette foto fra 1875 af Bayers farvefabrik i Eberfeld med dets virvar af bygninger, udstømmende dampe fra produktionen, de frit tilgængelige råvarelagre og affaldsbunker under åben himmel giver et lille indblik i de umenneskelige arbejdsforhold.



Foto fra cirka 1900 af badeanlæg i tjærefarvefabrik.

farvestofvirksomheder. Før i tiden havde den tyske industri hovedsagelig klaret sit behov for tilførsel af ny viden ved at knytte kontakter til naturvidenskabsmænd på universiteter og andre højere læreanstalter, men nu fungerede dette system ikke længere tilfredsstillende set fra industriens side. Der var flere grunde hertil.

For det første var der i 1877 blevet gennemført en ny tysk patentlovgivning, som var skræddersyet til den førende tyske industri. Mens tysk industri havde været tilbagestående i forhold til



Antallet af kemikere ansat ved det store tyske firma Bayer & Co i årene fra 1860 til 1900. En lignende udvikling fandt i samme tidsrum sted hos firmaets tyske konkurrenter.

(Kilde: Meyer-Thurrow (1982), s. 368)

den udenlandske, var det en fordel, at der stort set ikke fandtes nogen patentbeskyttelse i Tyskland. Den tyske industri havde altså frit kunnet kopiere de udenlandske konkurrenters produkter og sælge dem i Tyskland og andre lande uden patentbeskyttelse. Men efter at den tyske kemiske (og elektriske) industri var kommet foran i udviklingen, havde den presset på for at få en patentlov efter engelsk mønster. Nu gjaldt det i stedet om at beskytte de firmaer, der havde bekostet udviklingen af nye produkter, så andre ikke kunne kopiere dem og tjene på dem. Men just her var det et problem at basere sin forskning og udvikling på universitetsansatte, for disse havde for vane at offentliggøre deres forskningsresultater i tidsskrifter, der var tilgængelige for alle og enhver. Altså også for konkurrenterne.

For det andet var det langt fra altid, at fysikerne og kemikerne på universiteterne var særlig interesserede i industriens aktuelle problemer. De havde en tradition for fri forskning, altså for at arbejde med de spørgsmål, de fandt mest interessante ud fra et grundvidenskabeligt synspunkt og ikke ud fra snævre kommercielle interesser. Konflikten var ikke så alvorlig i de syntetiske farvestoffers første fase (anilinperioden), for da Hofmann og Perkin først havde åbnet døren til dette rige felt, var der en mængde opdagelser, som var lette at gøre. Men dette ændrede sig radikalt fra omkring 1870. Nu handlede det ikke længere så meget om at finde frem til helt nye farver, for »paletten var ved at være fyldt ud«. Det handlede mere om at finde farvestoffer, der var bedre (mere lys- og vaskeægte), lettere at anvende og billigere end farver, der allerede fandtes på markedet. Og hertil behøvedes i reglen et langt og målbevidst udviklingsarbejde, som naturligvis forudsatte en omfattende videnskabelig kemisk indsigt for at kunne lykkes, men som måske ikke var særlig interessant fra et grundvidenskabeligt synspunkt. Løsningen blev industriforskningslaboratoriet.

Udviklingen hos firmaet Bayer kan tjene som eksempel. De første kemikere, der blev ansat på Bayers forskningslaboratorium, var specielt håndplukkede og havde en så tæt kontakt til firmaets ledelse, at de stort set fik lov at arbejde, som de selv ønskede på de aftalte projekter. Men efterhånden som antallet af forskere voksede, fik ledelsen problemer med at bevare kontrollen over udviklingen. I 1887 valgte man derfor at optage en fremragende kemisk forsker, Carl Duisberg, i ledelsen. Både i erkendelse af hans store betydning for firmaet, men også i håbet om at han kunne finde frem til en hensigtsmæssig måde at integrere forskerne i virksomheden. Hans recept blev følgende:



- Der blev ansat en forskningschef, som fik til opgave at ansætte forskere og at koordinere firmaets forskningsindsats, dvs. definere de forskningsopgaver, man skulle beskæftige sig med på laboratoriet.
- Der blev skabt et differentieret lønsystem, så firmaet kunne honorere særligt fremragende forskere med højere løn. Desuden kunne ophavsmanden til et nyt patent, som firmaet besluttede at udnytte, regne med et beløb på 2-4 % af overskuddet stammende fra dette patent.
- Man efterlignede universiteterne ved at afholde regelmæssige konferencer for alle ansatte på firmaets forskningslaboratorium. Her kunne deltagerne holde hinanden underrettet om de fremskridt, de havde gjort siden sidst. Det almindelige vidensniveau i firmaet blev herved forhøjet, og konferencerne medvirkede samtidig til at skabe en positiv korpsånd, fordi det satte den enkeltes arbejde ind i et større firmaperspektiv.
- Den enkelte forsker måtte hver uge aflevere en skriftlig rapport om, hvad han/hun havde lavet i den forløbne uge. På den måde kunne forskningschefen og dermed også firmaets ledelse

Bayer & Co's forskningslaboratorium, som det så ud i 1911. Fra 1880 og fremefter ansatte de store tyske farvestoffirmaer et stadigt større antal dygtige kemikere, gav dem en høj løn og byggede veludstyrede laboratorier til dem. I begyndelsen famlede man sig lidt frem, men omkring århundredskiftet var de fleste tyske kemiske industriforskningslaboratorier nået frem til en hensigtsmæssig organisationsstruktur. Denne struktur har været model for mange af de laboratorier, der siden da er oprettet ved de fleste store industrikoncerner.

holde øje med, om den enkeltes forskningsaktivitet var tilfredsstillende og udviklede sig i den ønskede retning.

Bernal (1953), s.151

Forskningslaboratorierne, som de således kom til at fungere omkring 1900, betød at »selv opfindelser blev industrialiseret«. Borte var tidligere tiders isolerede opfinder som f.eks. Perkin, der tilfældigvis snublede over en sensationel opdagelse og selv udviklede ideen frem til et salgbart produkt. Efter etableringen af industriforskningslaboratorierne blev opfindelse og udvikling resultat af en højt specialiseret ekspertgruppes koordinerede indsats. Opfindelse og udvikling blev et teamwork, hvor en række personer med forskellige specialer indgik i et symbiotisk samarbejde om et konkret projekt af langt større omfang, end nogen enkeltperson eller lille gruppe kunne overkomme.

DuPont i USA

Det multinationale amerikanske firma DuPont blev grundlagt i 1802 af en fransk indvandrerfamilie. I de første 100 år af firmaets eksistens beskæftigede dets ejere sig stort set kun med at fremstille og sælge krudt og andre eksplosiver, i 1902 således sortkrudt, røgfrit krudt og dynamit. Netop i jubilæumsåret blev det gamle familiefirma overtaget af en yngre generation, der ønskede at ekspandere firmaet ved at starte en produktion af helt andre produkter. Som led i denne strategi blev der købt et par kemiske virksomheder, samtidig med at der blev oprettet et forsøgslaboratorium, som skulle være med til at udvikle nye produkter. Der var ikke tale om, at laboratoriet skulle bedrive egentlig grundforskning, det overlodes til universiteterne, men snarere målrettet forsknings- og udviklingsarbejde.

Det afgørende gennembrud for firmaet kom med Første Verdenskrig. Selv om USA først indtrådte i krigen i 1917, skulle den amerikanske hær oprustes for at være beredt på alle eventualiteter, og det betød en stærkt stigende efterspørgsel efter firmaets traditionelle hovedprodukter, krudt og dynamit. Bortfaldet af de tyske leverancer af farvestoffer til USA fik desuden DuPont til at kaste sig ud i et halsbrækkende forsøg på hurtigt at kopiere et udvalg af de tyske produkter med henblik på at kunne overtage leverancerne til det enorme amerikanske marked. Trods mange problemer undervejs lykkedes strategien så godt, at DuPont kom ud af krigen som et af verdens største kemiske foretagender og med et betydeligt bredere varesortiment, end det havde behersket før 1914. En heldig investering i bilfabrikken General Motors og udvikling af specielle typer lak til de mange nye biler øgede yderli-

gere firmaets indtjening, så det i midten af 1920'erne var et af USA's bedst konsoliderede foretagender.

I denne for firmaet så lyse situation sendte forskningsdirektøren Charles Stine den 18. december 1926 et forslag til firmaets direktion gående ud på, at firmaet nu også burde begynde at drive grundforskning. Hidtil havde firmaets forsøgslaboratorium kun anvendt kemisk viden, som andre havde fundet frem til, men Stine var af den opfattelse, at laboratoriets ansatte derfor ofte manglede en virkelig forståelse af det naturvidenskabelige grundlag for det, de foretog sig. De vidste, hvordan ting skete, men ikke hvorfor de skete. Stine forsøgte at overbevise ledelsen om, at hvis man i firmaet havde en bedre forståelse af de fundamentale principper bag de kemiske reaktioner, man arbejdede med, ville firmaet kunne designe og udvikle bedre produkter og processer.

Som følge af firmaets gunstige økonomi bevilgede ledelsen et beløb på 300.000 dollars årligt til »fundamental forskning«, et udtryk den foretrak frem for grundforskning, der måske smagte for meget af universitet. Dermed kunne Stine gå i gang med at rekruttere dygtige unge kemikere og kemiingeniører til et nyt forskningslaboratorium, der hurtigt blev kendt på DuPont under betegnelsen »Purity Hall«.

En af de nyansatte var den kun 31-årige kemiker Wallace H. Carothers, der i februar 1928 kom fra Harvard, et af USA's fineste universiteter. Carothers havde været meget skeptisk, men lod sig dog overtale, da han fik tilbudt en løn, der var næsten det dobbelte af, hvad Harvard kunne tilbyde ham, samt løfte om fuld frihed til at dyrke sine videnskabelige interesser. Det var ham, der fik til opgave at opbygge en forskergruppe i organisk kemi, og efter samråd med Stine besluttede Carothers, at forskningen især skulle dreje sig om polymer-forbindelsers kemi. På dette tidspunkt var DuPont nemlig blevet meget interesseret i de store molekyler, der kaldes polymerer, fordi nogle af firmaets nyeste og mest solgte produkter, cellofan og rayon, var baseret på cellulose, der er et naturligt polymer.

I løbet af de kun ni år, Carothers var ansat ved DuPont, præsterede han og hans polymergruppe ikke mindre end to opdagelser, der hver især fik enorm betydning, ikke bare for firmaet DuPont, men for almindelige menneskers dagligdag. I stedet for at give sig til at studere cellulose med henblik på at fastlægge dets detaljerede molekylstruktur, besluttede Carothers, at hans forskergruppe hellere måtte bruge tiden på at forsøge at opbygge helt nye, kunstige polymerer. Allerede inden han var flyttet til DuPonts hovedkvarter i New Jersey, sendte han et brev til en af Stines medarbejdere, hvori han luftede sin dristige ide: »Jeg har længe håbet,

at det vil være muligt at tackle dette problem fra den syntetiske side. Ideen er at opbygge nogle meget store molekyler ved hjælp af simple og præcise reaktioner på en sådan måde, at der ikke kan være tvivl om deres struktur. Ideen er uden tvivl lidt fantastisk ...»
[Hounshell og Smith (1988), s. 231]

Selv om ideen forekom selv Carothers at være fantastisk, forfulgte han den indædt i de følgende år. I april 1930, efter to års forløb, kom det første store gennembrud, da hans gruppe syntetiserede neopren, et stof, der var kemisk analogt til naturgummi. Få uger senere kom det næste gennembrud, da gruppen havde held til at syntetisere et stof med molekylvægt over 12.000, som kunne trækkes ud, så den dannede lange fibre. Analyser viste desværre, at stoffet ikke kunne bruges som erstatning for naturlige tekstilfibre, for smeltepunktet var under 100 grader. Ikke desto mindre var Carothers og Stine enige om, at de var på sporet af noget stort, så arbejdet fortsatte både i »Purity House« og i firmaets udviklingsafdeling med de stoffer, der snart blev kendt under navnet nylon.

Både neopren og nylon måtte gennem mange års udviklingsperioder, som kostede firmaet DuPont henholdsvis 2,5 og 4,3 millioner dollars i udviklingsomkostninger. Neopren var ikke bare et mirakelprodukt, der med et slag kunne fortrænge naturgummi på alle dets anvendelsesområder. DuPont fandt snart ud af, at det både var nødvendigt og ønskeligt at tilpasse produktet efter de forskellige potentielle anvendelsesmuligheder. Ved at ændre neopren-polymerets struktur, f.eks. ved at tilsætte forskellige kemiske stoffer under fabrikationen, kunne man fremstille neopren-produkter, der med fordel kunne erstatte naturgummi i gummislanget, handsker og skosåler, og efterhånden også i hundredvis af andre anvendelser. I 1939 var DuPont kommet op på at producere ca. 2 millioner kg neopren til allehånde formål, men Anden Verdenskrig medførte en så dramatisk forøgelse af efterspørgslen, at produktionen i 1944 nåede 60 millioner kg, altså en produktionsforøgelse med en faktor 30 på kun fem år.

Nylon var en endnu større satsning fra DuPonts side. Udviklingsarbejdet fik fuld fart på i 1934, da DuPonts ledelse på grundlag af en markedsundersøgelse vurderede, at lette damestrømper af nylon ville kunne erobre en betydelig del af det 70 millioner dollars årlige marked for silkestrømper i USA. I forbindelse med verdensudstillingen i New York i 1938 kunne Stine udsende den officielle meddelelse til alverdens kvinder, om at fremtiden nu var lige om hjørnet:

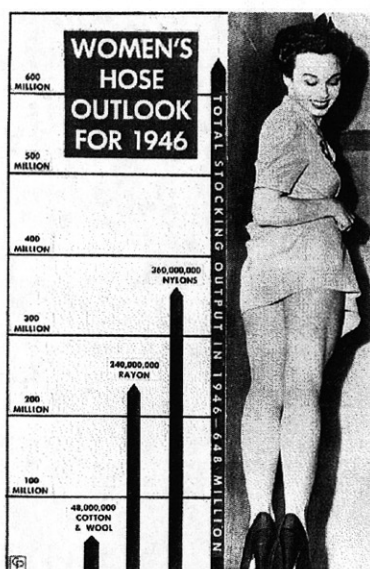
ganiske fiber, der er lavet af helt nye materialer fra det mineralske rige. Jeg hentyder til en fiber lavet af nylon [...]. Skønt den helt igennem er lavet af almindelige råmaterialer som kul, vand og luft, kan nylon formes til tråde, der er stærke som stål, så fine som spindelvæv, og alligevel mere elastiske end nogen af de sædvanlige naturfibre.«

Da alle aviser skrev vidt og bredt om det nye vidunderstof, er det måske ikke underligt, at kvinderne stod i lange køer og ventede, da nylonstrømper endelig kom på markedet den 15. maj 1940. Og selv om påstanden om, at nylon er stærkt som stål måske ikke helt harmonerede med mange kvinders smertelige erfaringer, er det en kendsgerning, at nylonstrømper var kommet for at blive. Alene firmaets fortjeneste i sidste halvdel af 1940 var nok til at dække de foregående fem års udviklingsomkostninger, en forrygende succes, der hos DuPont skabte en overbevisning om, at store investeringer i fundamental forskning altid vil betale sig på langt sigt. I de følgende årtier fulgte DuPont denne opskrift, der meget sigende kom til at hedde »nylonmodellen« for innovation.

Afslutning

Den syntetiske farvestofindustri påstås ofte – i lighed med den elektriske industri – at være et skoleeksempel på en industri, der ikke ville være kommet i gang uden forudgående naturvidenskabelige fremskridt. Til en vis grad er dette rigtigt: uden Liebig-elevernes ballast af kemisk viden og erfaring i omhyggelig kemisk analyse ville chancerne næsten have været lig nul, for at en eller anden ved et tilfælde skulle slumpe sig til at fremstille et syntetisk farvestof. Men samtidig bør det understreges, at i de syntetiske farvestoffers første fase (anilinfasen) var det kun den generelle kemiske erfaringsbaggrund, der var væsentlig. Udviklingen foregik empirisk. Der fandtes ingen anerkendt og slagkraftig kemisk teori, der kunne vejlede opfinderne i denne fase.

Alt dette blev anderledes, efter at Kekulés benzenteori fra 1865 havde givet kemikerne den ledestjerne, de havde savnet. Fra dette tidspunkt indledtes »den målbevidste synteseperiode«, hvor kemikerne bevidst forsøgte at syntetisere farvestoffer med helt specielle egenskaber. Først fra dette tidspunkt kan man tale om, at farvestofindustrien for alvor var blevet videnskabsbaseret. Der kom til at gå yderligere 20-30 år, før de store tyske farvestofkoncerner havde udviklet den institution, der kom til at betyde den stadige og tætte sammenknytning mellem videnskab og teknologi: industri-



I de første år efter Anden Verdenskrig kneb det stadig for amerikanske kvinder at skaffe alle de nylonstrømper, de kunne ønske sig. Men snart ville problemet være løst, hævdede Office of Price Administration (OPA) i Washington den 4. august 1946. Faktisk blev der på dette tidspunkt fremstillet ikke mindre end 54 millioner par nylonstrømper per måned, hvilket skulle være tilstrækkeligt til at sikre hver amerikansk kvinde over 14 år et par nye strømper per måned. Men som det fremgår af søjlerne til venstre for den dristige dame med nylonstrømperne, forventer OPA, at produktionen vil vokse dramatisk i løbet af de sidste måneder af 1946.

forskningslaboratoriet. Til gengæld havde denne institution da fundet en form, som har vist sig brugbar frem til vore dage.

Man kan spekulere over, hvorfor det netop skulle blive den kemiske industri, der førte an med hensyn til etablering af industriforskningslaboratorier. Det er næppe en tilfældighed, men hænger formodentlig sammen med noget basalt ved al kemisk virksomhed. I modsætning til hvad der er tilfældet i virksomheder, der er baseret på mekaniske fænomener, kan man aldrig »se«, hvad der egentlig foregår, når stoffer reagerer kemisk med hinanden. Det betyder også, at den kemiske industri har en århundredgammel tradition for at søge samarbejde med folk, der – med rette eller urette – har hævdet at vide noget om, hvad det er, der sker under kemiske processer. De klassiske, mekanisk baserede industrier har ikke haft tilsvarende behov, og den elektriske industri, der – i lighed med den kemiske – opererer i en usynlig mikroskopisk verden bag den umiddelbart sanselige, er af yngre dato end den kemiske industri. I den elektriske industri erkendtes behovet for industriforskningslaboratorier kun lidt forsinket i forhold til den kemiske industri, jf. kapitlerne 8 og 9.

Historien om, hvordan England i løbet af få år tabte sin førerstilling inden for farvestofteknologi til Tyskland, er lærerig på flere måder. Den fortæller, hvordan England fik en flyvende start og dominerede feltet i de første år efter 1857. Men den fortæller også, at på dette tidspunkt, hvor alt tilsyneladende tegnede lyst for den engelske farvestofindustri, var den i virkeligheden allerede ved at tabe den endnu knap nok erkendte konkurrence med Tyskland. Hvis Englands nederlag i denne konkurrence skulle have været forhindret, måtte engelske politikere have indledt en systematisk uddannelse af kemikere en hel generation i forvejen – ligesom Tyskland. Men det var ikke sket, og derfor var Englands nederlag næsten uundgåeligt. England kunne formodentlig have redet stormen af ved at tiltrække særligt fremragende udenlandske (tyske) kemikere og ved at have givet dem generøse arbejds- og lønforhold, indtil man havde fået uddannet tilstrækkeligt med engelske kemikere. Men man gjorde i virkeligheden intet for at holde på Hofmann, Caro og andre, der, efter at de var vendt hjem til Tyskland, kom til at spille en meget vigtig rolle i opbygningen af det tyske kemiske industriimperium. Fra dette tidspunkt øgedes afstanden mellem den tyske og den engelske kemiske industris kapacitet og konkurrenceevne år for år, indtil Tysklands nederlag i Første Verdenskrigs ragnarok betød enden på den tyske kemiske industris totale dominans.