

# Techniek in Nederland *in de* TWINTIGSTE EEUW

## II

DELFSTOFFEN  
ENERGIE  
CHEMIE

Deel 3  
Chemie  
Hoofdstuk 2  
Incl. noten

*Mandflessen met zwavelzuur liggen klaar voor transport op de loskade van de Koninklijke Zwavelzuurfabrieken, voorheen Ketjen & Co. in Amsterdam-Noord. Kleine partijen zwavelzuur werden tot ver in de twintigste eeuw vervoerd in*

*mandflessen van ongeveer 50 liter. Het grootschalig zwavelzuurtransport naar superfosfaatfabrieken vond al vanaf het einde van de negentiende eeuw met tankschepen plaats.*



# Grootschalig produceren: superfosfaat en zwavelzuur, 1890-1940

De opkomst van de Nederlandse superfosfaatindustrie

De productie van superfosfaat

Zwavelzuur

Het lodenkamerproces

Het contactproces

De opkomst van het ingenieursbureau

Aan het begin van de eeuw hoorden superfosfaat- en zwavelzuurfabrieken tot de meest grootschalige onderdelen van de Nederlandse chemische industrie. Voor zwavelzuur gold dat alleen in termen van de hoeveelheid product die per fabriek vervaardigd werd, voor de kunstmest superfosfaat echter ook in termen van arbeidersaantallen. Op de stearinekaarsenfabrieken na hadden de superfosfaatfabrieken de hoogste aantallen arbeiders per fabriek. Ook in internationaal opzicht speelde de Nederlandse superfosfaatindustrie een toonaangevende rol. In het Interbellum stond Nederland, als grootste exporteur, in de wereldhandel in superfosfaat zelfs bovenaan. Ook de Nederlandse stikstofkunstmestindustrie was internationaal van gewicht. De industrie van de fosfaatmeststoffen komt in dit hoofdstuk aan de orde, die der stikstofmeststoffen in hoofdstuk vijf.<sup>1</sup>

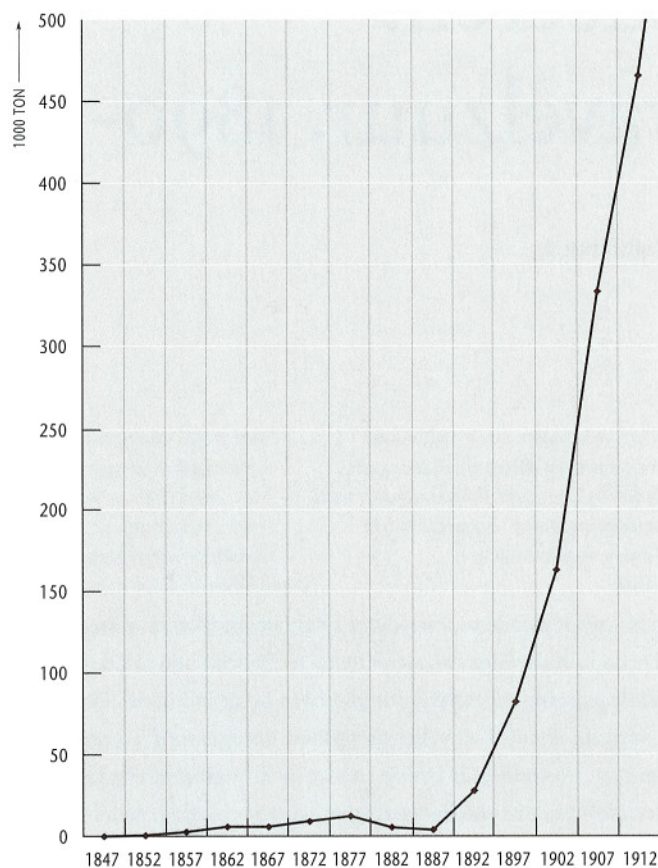
Als voorbeelden van chemische bedrijven waarin schaal, schaalvergroting en procestechnologie aan het begin van de eeuw een rol speelden, ligt een keuze voor de *commodities* superfosfaat en zwavelzuur dan ook voor de hand. Beide waren zo nauw met elkaar verweven dat het alleszins gerechtvaardigd is ze samen te behandelen. Dit levert, naast enkele parallellen, bovendien een interessant contrast op tussen deze centrale takken van de vroeg-twintigste-eeuwse chemische nijverheid. Terwijl in de zwavelzuurindustrie, waarin met vloeistoffen en gassen werd gewerkt, al in een vroeg stadium meetinstrumenten en methoden tot procesregeling werden ingevoerd – hetgeen hoge eisen stelde aan de kwaliteit van het bedieningspersoneel – bleef de met vaste stoffen werkende superfosfaatindustrie tot na de Tweede Wereldoorlog een vrij ambachtelijke tak van industrie, met veel zwaar en vuil handwerk. Bedrijfstakken waarin – vaak ladingsgewijs – met vaste stoffen wordt gewerkt, zijn doorgaans slechter te automatiseren dan de

continu werkende procesindustrie van vloeistoffen en gassen. De door onderlinge concurrentie en technische ontwikkeling voortgedreven schaalvergroting werd in beide industrietakken overigens slechts met vallen en opstaan doorgevoerd. Tussen 1890 en 1940 worstelden de bedrijven met de invoering van nieuwe technologie, met mechanisering en schaalvergroting, met de eisen die aan arbeiders dienden te worden gesteld en met de technische mogelijkheden de luchtvervuiling van hun fabrieken binnen de perken te houden. Verschillende bedrijven bouwden zo geleidelijk de benodigde procestechnologische expertise op om zelfstandig procesverbeteringen te ontwikkelen en door te voeren. Nieuwkomers in een branche waren echter aangewezen op extern advies en op de expertise van gespecialiseerde ingenieursbureaus. Hoewel dergelijke bureaus ook binnen andere takken van de chemische industrie bestonden, hoorden de bureaus die zich met zwavelzuur en superfosfaat bezig hielden tot de oudste van Europa. Om die reden zal aan het eind van dit hoofdstuk een uitstapje naar de geschiedenis van deze bureaus worden gemaakt en uitgelegd worden hoe de rol die zij speelden voor de Nederlandse technische ontwikkeling in de loop van de eeuw veranderde.

## De opkomst van de Nederlandse superfosfaatindustrie

Omstreeks 1840 ontdekte de Engelse grondbezitter J.B. Lawes dat het behandelen met zwavelzuur van beenderen en andere fosfaathoudende stoffen een meststof opleverde die de plantengroei meer stimuleerde dan het onbehandelde product. Hij noemde zijn nieuwe product 'superfosfaat' en stichtte de eerste 'kunstmest'-

Grafiek 2.1: De netto-import van 'guano' (1847-1877) en 'meststoffen totaal' (vijfjaarsgemiddelden)



Bron: *Statistiek van den in-, uit- en doorvoer*; J.L. van Zanden, *De economische ontwikkeling van de Nederlandse landbouw in de negentiende eeuw, 1800-1914* (Utrecht 1985) 254.

fabriek van Europa. In Nederland was de Utrechtse chemische fabrikant Machiel Müller de eerste die omstreeks 1867 superfosfaten op de markt bracht, gevolgd door de Rotterdamse 'guanine'-fabrikant J.J. Kortman en de Zwolse beenzwartproducent en kunstmesthandelaar G.J. Krol & Co.. Meer fabrieken werden opgericht, maar tijdens de landbouwcrisis van de jaren tachtig verdwenen de meeste weer. De verhoudingen in de kunstmestbranche veranderden toen ingrijpend.<sup>2</sup> Waar eerst bedrijven zowel superfosfaten als mengmeststoffen maakten (Krol, Kortman en Müller), zag men nu enerzijds enkele grootschalig producerende superfosfaatfabrieken, en anderzijds verscheidene kleine fabrieken van kunstmestmengsels die als 'chemische meststoffen' op de markt werden gebracht. Als grondstof voor superfosfaten gebruikten de grootschalige fabrieken geen beenderen of guano's maar ruwe minerale fosfaten, die uit de Antillen, Florida en Noord-Afrika werden geïmporteerd. Deze veel hardere grondstoffen vergden de inzet van stoommachines in het maalproces en daarmee het doen van grotere investeringen. Dit was één van de redenen dat klein-

schalige producenten de strijd met de grotere fabrieken na 1890 niet meer konden volhouden.<sup>3</sup>

Het gebruik van kunstmest steeg binnen enkele jaren tot grote hoogte (grafiek 2.1). Zo hadden in 1894 reeds veertien buitenlandse superfosfaatfabrieken een eigen vertegenwoordiger in ons land. Sommigen van hen waren betrokken bij de fabrieken die toen werden opgericht. Reeds in 1882 richtte de Brabantse kunstmesthandelaar en mengmestfabrikant Coenen samen met de leerlooier J. Schoenmakers in Uden een superfosfaat- en kunstmeststoffenfabriek op onder de naam Coenen & Schoenmakers. Aanvankelijk produceerde dit bedrijf op kleine schaal mengmeststoffen en superfosfaten uit beenderen. Pas nadat in 1892 een tweede stoommachine was aangeschaft en ook de fabricage van zwavelzuur ter hand was genomen, ontwikkelde het bedrijf zich tot een grootschalig opererende superfosfaatfabrikant die ook ruwe fosfaten verwerkte. In 1890 richtten Groningse kunstmesthandelaren de 'Fabriek van Hulpmeststoffen l'Espérance' op, terwijl vijf jaar later Rotterdamse importeurs en reders, samen met een Duitse fabrikant, de Internationale Guano- en Superphosphaat-Werken te Zwijndrecht stichtten.<sup>4</sup>

Niet elke oprichting kende succes. Zo deed de N.V. Chemische Fabrieken 'Neerlandia' een poging een superfosfaatfabriek van de grond te krijgen. Een toen net opgericht kartel van Belgische en Nederlandse superfosfaatfabrikanten besloot echter tot een drastische prijsverlaging, waarmee dit initiatief in de kiem werd gesmoord.<sup>5</sup>

Nadat het kartel in 1904 uiteengevallen was, ontstonden er nieuwe kansen. Technische expertise ging nu een steeds grotere rol spelen. Bij vrijwel alle oprichtingen die na 1904 plaatsvonden, was de voormalige Zwijndrechtse directeur F.W. Bakema betrokken: bij de N.V. Amsterdamsche Superfosfaatfabriek (1907), bij de Superphosphaatfabriek 'Holland' in Pernis (1910) en vanaf 1916 bij de Eerste Nederlandsche Coöperatieve Kunstmestfabriek (ENCK) te Vlaarding. Mogelijk was hij ook betrokken bij de bouw van de superfosfaatfabriek in Terneuzen, eigendom van de onder leiding van de voormalige Rotterdamse fabrikant H.D. Salomonson in 1908 opgerichte N.V. Nederlandsche Phosphaatmaatschappij.<sup>6</sup> Behalve tien tot twintig kleine meststoffenfabrieken en mestmennerijen telde ons land zo aan de vooravond van de Eerste Wereldoorlog zes of zeven fabrieken van superfosfaat, waarvan er een drietal (Uden, Zwijndrecht en Capelle) ook zwavelzuur maakten. De fabriek in Zwijndrecht was met 383 arbeiders in 1912 de grootste. Die te Pernis sloot met 20 arbeiders de rij. Deze fabriek was toen echter net opgericht en zou later uitgroeien tot een van de grootste Nederlandse fabrieken in deze branche (vgl. tabel 2.1).<sup>7</sup>



De superfosfaat- en zwavelzuurfabrieken van de Vereenigde Chemische Fabrieken (VCF) in Zwijndrecht in 1931, geschilderd door A. Akkerman. De in 1895 opgerichte NV Internationale Guano- en Superphosphaat-Werken fuseerde in 1915 met twee fabrieken uit Hoogkerk en Capelle a/d IJssel tot de VCF. Reeds in 1898 begon de Zwijndrechtse fabriek zelf zwavelzuur te produceren. Klachten over stankoverlast en schade aan gewassen zorgden later voor een verhoging van de opgestelde Gay-Lussac- en Glover-torens, die men midden op dit schilderij boven het dak van de zwavelzuurfabriek ziet uitsteken.

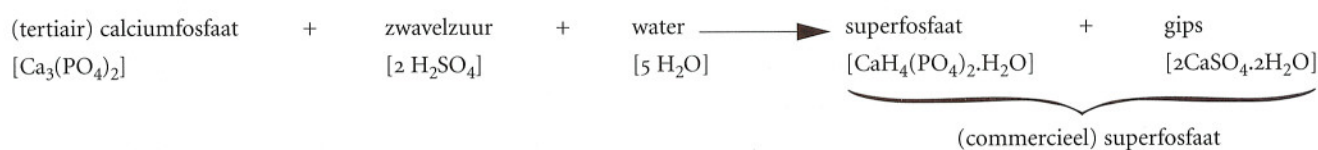
## De productie van superfosfaat

Superfosfaat is de handelsnaam van een verbinding tussen kalk en fosforzuur die in zuivere vorm door scheikundigen ook wel primair calciumfosfaat of calciumtetrahydrofosfaat  $[\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2]$  wordt genoemd. Deze stof is in water oplosbaar, zodat plantenwortels haar goed kunnen opnemen. In de natuur – zoals in dierlijke organismen, beenderen, schelpen, vogelpoep (guano) en aardlagen – komt calciumfosfaat echter grotendeels voor als het onoplosbare tertiaire calciumfosfaat  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ , dat veel slechter door planten wordt opgenomen. Toen Lawes zijn bemestingsproeven uitvoerde, waren de chemische details van de reactie tussen fosfaten en zwavelzuur hem nog niet bekend. Met de opkomst van de superfosfaatindustrie in Engeland, Duitsland en Frankrijk werd echter steeds duidelijker wat zich tijdens het productieproces afspeelde. Daardoor kon men, toen de eerste Nederlandse fabrieken werden opgericht, vooraf uitrekenen in welke onderlinge verhouding de fosfaatbevattende grondstof met zwavelzuur diende te worden vermengd (figuur 2.1).

In beginsel kunnen alle (tertiair) calciumfosfaat bevattende natuurproducten tot grondstof voor de superfosfaatindustrie dienen. Aanvankelijk gebruikte men beendermeel, maar weldra werden ook afgewerkte beenderkool (beenzwart) uit de suikerindustrie, visafval, guano en minerale fosfaten gebruikt. Terwijl vanaf ongeveer 1890 vooral minerale fosfaatertsen tot grondstof dienden, hadden organische fosfaten in de beginjaren bepaald een streepje voor. Onder namen als ‘opgelost beendermeel’ en ‘ontsloten guano’ kwamen superfosfaten in de handel die hoger gewaardeerd werden dan het minerale product. Niet alleen omdat ze ook stikstof bevatten, zodat ze een completere bemesting garandeerden, maar ook omdat velen toen meenden dat rotting in de bodem de voedingsstoffen in een voor planten geschiktere vorm bracht. Zo lezen we in een leerboek uit 1878 dat ‘een weinig dierlijke stof, zoals haar of wol, gedroogde visch of bloed (...) de kwaliteit van [superfosfaat] mest aanmerkelijk [verbetert]’<sup>8</sup>.

Toen de garancinefabrikant Max Salomonson en zijn zoon Henri in 1876 te Capelle a/d IJssel bij wijze van proef de fabricage van

Figuur 2.1: De productie van superfosfaat uit calciumfosfaat en zwavelzuur



Toelichting: Het superfosfaat dat in de handel kwam, was een mengsel van superfosfaat ‘in engere zin’ (= primair calciumfosfaat) en gips. Het theoretisch maximaal mogelijke gehalte aan fosforpentoxide ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) in dat meng-

sel is 23,8%. In de praktijk bevatte superfosfaat hiervan evenwel doorgaans slechts 12 tot 16%.

superfosfaat ter hand namen, aarzelden ze dan ook niet om ook bloed, visafval en andere organische stoffen op forse schaal te gebruiken. Dit tot groot verdriet van de burens, die onmiddellijk bij het gemeentebestuur aan de bel trokken. Hun getuigenis loog er niet om. Glasfabrikant Mijndierff meldde dat 'de stank die op sommige dagen verspreid werd, (...) zo boven alle beschrijving afschuwelijk (was), dat ik verklaar nimmer elders zo iets geroken te hebben'. Voor Salomonson zat er niets anders op dan de organische toevoegingen weg te laten. Het bedrijf concentreerde zich voortaan op de verwerking van minerale fosfaten en guano, en zag in 1878 zelfs af van de verwerking van beenderen en beendermeel. Als bezitter van een garancinefabriek waar in 1876 honderd arbeiders werkten en talloze stoomketels en machines stonden opgesteld, was Salomonson als geen ander in staat de zaken groot aan te pakken. Voordat de ruwe fosfaaterts behandeld kon worden, moest die eerst goed worden vermalen. Daar was krachtige apparatuur voor nodig. Een garancinefabriek, waar meekrap en garancine zowel voor als na de behandeling met zwavelzuur gemalen moesten worden, had zulke machines in huis. Om ook de rest van de superfosfaatproductie grootschalig in te richten, trok Salomonson in 1877 de Duitse chemicus Julius Laubheimer aan, die reeds ervaring had opgedaan in de kunstmestfabriek van de firma Michel, Lederer & Co. in Ludwigshafen. Een jaar later kwamen de eerste kunstmestmachines.<sup>9</sup>

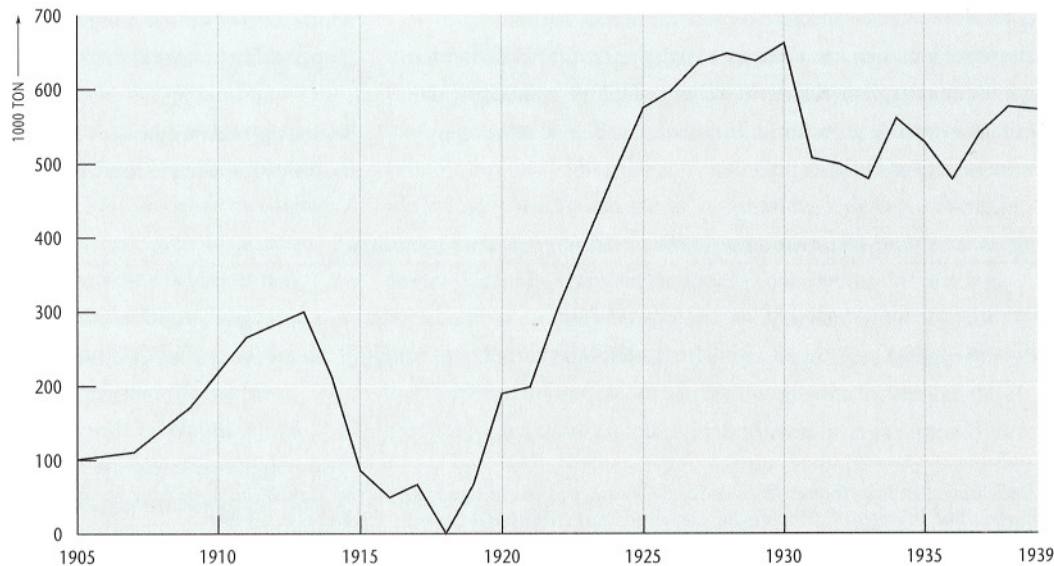
Met de 8000 ton fosfaaterts en guano die hij tussen juli 1877 en juni 1878 reeds verwerkte, kon 14.000 ton superfosfaat worden gemaakt. Dit was toen een uitzonderlijk grote hoeveelheid, want er werd landelijk slechts 12.000 ton guano geïmporteerd. Daarnaast was er 8000 ton zwavelzuur nodig: de helft van de gehele Nederlandse productie. Iedere week leverde de Amsterdamse zwavelzuurfabrikant G.T. Ketjen & Co. per schip, in 2000 mandflessen, 200 ton zwavelzuur af. Hiermee konden 18.000 ton superfosfaat en 'ontsloten guano' worden gemaakt. Tot de omzetting

in de N.V. Centrale Guano Fabrieken, in 1895, handhaafde Salomonson dit productieniveau. Daarna vond verdere uitbreiding plaats. Uit de nieuwe naam blijkt overigens dat het bedrijf naast grote hoeveelheden minerale fosfaten ook de bij de boeren in hoog aanzien staande guano's bleef verwerken. Salomonson exporteerde deze guano's grotendeels naar Duitsland. Dit was naast de door hem doorgevoerde schaalvergroting – en de daaruit resulterende kostprijsverlaging – mogelijk een tweede reden dat hij de Nederlandse landbouwcrisis van de jaren tachtig zo goed doorstond.<sup>10</sup>

Het voorbeeld van Salomonson om grootschalig te werken en verregaande mechanisering door te voeren, werd door de na 1890 opgerichte fabrieken gevolgd. De primaire drijvende krachten achter deze tendens van schaalvergroting, productieverhoging en kostprijsverlaging waren – naast nog te behandelen arbeidshygiënische voordelen – de voortdurend stijgende vraag naar kunstmest en de dreiging die van de buitenlandse concurrentie uitging, vooral van Belgische zijde. Deze zette niet alleen het marktaandeel van de Nederlandse superfosfaatfabrieken op de binnenlandse markt onder druk, waardoor deze al vroeg naar de overzeese export uitweken, maar zorgde er ook voor dat men voortdurend innovatief moest zijn en iedere kans op kostprijsverlaging moest zien te benutten.<sup>11</sup>

Bij een voortdurend groeiende behoefte aan kunstmest was schaalvergroting een probaat middel om die kostprijsverlaging te bereiken. Zo voerde Bakema de capaciteit van de fabriek in Zwijndrecht op van 20.000 ton/jaar in 1896-1897, toen de fabriek in bedrijf kwam, tot 62.000 ton/jaar tien jaar later (vgl. grafiek 2.2). De Amsterdamsche Superfosfaatfabriek (ASF) werd door hem in 1907 direct ontworpen met een capaciteit van 30.000 ton, met een mogelijkheid tot verdubbeling. Binnen vier jaar was zelfs dat dubbele plafond reeds bereikt, waarmee de ASF de snelst groeiende fabriek van Nederland was. Bakema ontpopte zich ook daarna

Grafiek 2.2: De productie van superfosfaat in Nederland, 1905-1939



Bron: [E. Bloembergen], *Vijf en zeventig jaar superfosfaat* (Utrecht 1953) 107.



*In superfosfaatfabrieken vond veel zware en ongezonde handarbeid plaats. Hier het afsteken van de superfosfaathopen, dat veel stofoverlast gaf, het transport met kruiwagens naar de opzakmachine en het sjouwen met de volle jutezakken in de Amsterdamsche Superfosfaat-fabriek in 1917.*

steeds als een ware kampioen van de schaalvergroting. Toen hij in 1917-1918 van de Groningse en Zeeuwse boeren de opdracht kreeg in Vlaardingen een coöperatieve superfosfaatfabriek van 60.000 ton/jaar te bouwen en te leiden, met een uitbreidingsmogelijkheid tot 90.000 ton, besloot hij zonder medeweten van het bestuur een fabriek van 180.000 ton neer te zetten. De samenwerkende boeren wilden slechts een fabriek om in hun eigen behoefte te voorzien, zodat ze geen last meer zouden hebben van de prijsopstuwende werking van kartels en van het monopolie dat zich had gevormd toen de vijf grootste Nederlandse fabrikanten zich in 1916-1917 aaneensloten. Bakema, die de binnen die combine heersende cultuur van een streven naar voortdurende schaalvergroting uit eigen ervaring kende en het zijne daaraan had bijgedragen, was er echter van overtuigd dat grootscheepse schaalvergroting essentieel was voor de levensvatbaarheid van het bedrijf. Het niet door de eigen boeren afgenomen superfosfaat werd naar het zuidelijk halfrond geëxporteerd, wat als bijkomend voordeel had dat deze in principe seizoengebonden fabriek het hele jaar kon blijven draaien. Het bestuur van de coöperatieve kunstmestfabriek ging uiteindelijk overstag, maar niet voordat directeur Bakema had gedreigd op te stappen. Bij de inbedrijfstelling in 1921 was 'Vlaardingen' de grootste superfosfaatfabriek van Europa.<sup>12</sup>

De capaciteit van de grootste Nederlandse superfosfaatfabrieken steeg dus in 25 jaar met een factor negen, van 20.000 (Zwijndrecht) tot 180.000 ton/jaar (Vlaardingen). Dit had niet alleen gevolgen voor de financiering van het bedrijfskapitaal maar ook, zoals we nog zullen zien, voor de technische mogelijkheden een dergelijke fabriek te ontwerpen en te bouwen.

### **Arbeid**

Het produceren van superfosfaat was tot ver in de twintigste eeuw een zwaar en weinig aantrekkelijk karwei. Op een klein leidinggevend kader van bedrijfsleiders en fabrieksbazen na hadden de arbeiders geen vaste posities in het bedrijf. Velen waren dagloners die in tijden van grote drukte voor laad- en loswerkzaamheden en fabriekswerk werden aangetrokken. Zelfs arbeiders die min of meer continu in dienst waren, werden tot de Tweede Wereldoorlog van dag tot dag daar ingezet waar behoefte aan hun arbeidskracht was. Van gespecialiseerde scholing was tot ongeveer 1950 nauwelijks sprake. Daarna dwong de krappe arbeidsmarkt de bedrijfsleiders dit beleid te wijzigen.<sup>13</sup>

Om wat voor arbeid ging het? Om te beginnen, moesten de schepen worden gelost die de guano, het ruwe fosfaat en de mandfleszen zwavelzuur aanvoerden. Tonnen fosfaat en guano werden met de hand aan land gebracht en via steile trappen naar de fosfaatbergen in de grondstoffenloods vervoerd, waar ze werden leeggestort. Voordat het tijdens de opslag weer keihard geworden fosfaat naar de malderij kon worden vervoerd, moesten arbeiders de fosfaatrots met pikhouwelen loshakken. Superfosfaatfabrieken waren berucht om hun stofoverlast, zowel in de fosfaatloods als in de malderij en, vooral, aan het eind van het proces, wanneer het superfosfaat na maling in zakken moest worden gedaan.<sup>14</sup>

Het eigenlijke productieproces begon met het ladingsgewijs mengen van het fosfaatmeel met zwavelzuur in de ontsluitingsfabriek, die uit een menginrichting en een kelder bestond. Afhankelijk van het fosfaatgehalte van het mineraal, dat steeds door laboratoriumanalyses moest worden vastgesteld, voegde men per 1000 kilo fos-

faat 900 tot 1000 kilo zwavelzuur toe. De hoeveelheden moesten nauwkeurig worden afgewogen. Aan het begin van de twintigste eeuw gebeurde dat met behulp van een weegpeer voor fosfaatmeel en een loden meetbak voor zwavelzuur. De menging gebeurde aanvankelijk in houten bakken of in putten in de grond, door handmatig omroeren met een soort roeispanen. Salomonson schafte echter al in 1880 een mechanisch aangedreven trechtervormige mengpan aan, zodat de nu 'panner' geheten 'ontsluiter' zijn werk niet meer handmatig hoefde te doen. Na enkele minuten stortte de panner de ontstane, hevig bruisende en snel in temperatuur stijgende brij door het overhalen van een hendel van de mengpan in een gemetselde vierkante kelder of opsluitkamer. Hij ging door met mengen en leegstorten tot de kelder vol was. In deze ruimte – die ook kelder heette als hij zich op de begane grond of een verdieping bevond; het was een naam uit de beginjaren van de industrie – liet men zwavelzuur en fosfaat met elkaar reageren en opstijven. De temperatuur liep daarbij vanzelf op tot ongeveer 130°C. Waterdamp, koolzuur en andere ontledingsproducten van het ruwe fosfaat kwamen daarbij vrij, zodat uit 1000 kilo fosfaat en 950 kilo zuur slechts 1800 kilo product ontstond. De rest verdween in de atmosfeer. Geleidelijk werd de massa steeds vaster doordat het ontstane gips (calciumsulfaat) kristalliseerde. Na enkele uren was het proces voltooid.

Nu volgde het zwaarste onderdeel van het werk: het met pikhouweel, schop en kruiwagen verwijderen van het hete, dampende en stinkende superfosfaat uit de kelders. Het was beestenwerk, door kunstmestfabrikant mr. E. Bloembergen later als volgt beschreven: 'Drie mannen gingen hier om de beurt, meestal met ontbloot bovenlijf en een zakdoek voor de neus, naar binnen om een kruiwagen vol te scheppen, die dan in de loods werd leeggestort. Het zgn. uitbrengen van een kelder duurde een uur of twee... Langer dan een kwartier kon iemand het werk niet volhouden, dan werd hij afgelost. De arbeiders brachten het superfosfaat naar de rijpingsloods, waar het enige maanden moest liggen 'rijpen' voordat het in de handel kon worden gebracht. Als de ruimte leeg was, vulde de panner weer een nieuwe kelder met een volgende lading. Het proces begon dan weer van voren af aan. 'Het kwam voor dat deze panner dag in dag uit in touw was, dus telkens twee uur sliep en twee uur werkte.'<sup>15</sup>

### **Luchtverontreiniging en arbeidshygiëne**

Sinds niet meer met slachtafval, vis en bloed werd gewerkt, was de walgelijke lucht rond de fabrieken grotendeels verdwenen, de luchtverontreiniging echter niet. Wat was het geval? Met de overgang op minerale fosfaten als grondstof was een nieuw probleem geïntroduceerd. Mineraal fosfaat bevat meestal ook siliciumverbindingen en vaak meer dan vijf procent fluorzouten, die tijdens de inwerking van het zwavelzuur in de vorm van het vluchtige fluorwaterstof en siliciumfluoride (HF en SiF<sub>4</sub>) vrijkomen. Deze

gassen, in grote hoeveelheden gevormd tijdens de reactie in de kelders, waren hinderlijk voor de arbeiders en schadelijk voor hun gezondheid. Fluorwaterstof is bovendien een etsend zuur dat glas en andere materialen aantast. Niet alleen voor de uithalers van de kelders hielden deze dampen een risico in, maar vooral ook voor het vee dat rond de fabrieken graasde. Bij koeien werden de kiezen aangetast en ging het beendergestel achteruit. Doordat er bovendien meestal ook een zwavelzuurfabriek aanwezig was, die zwavel- en stikstofoxiden uitstootte, ontstond er een hinderlijke cocktail van zure dampen, die steeds vaker de aandacht van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid ging opeisen.

Toen in 1905 en 1909 in Zwijndrecht werd geklaagd over schade aan fruitbomen en tuinbouwproducten vanwege de uitwasemingen van de plaatselijke superfosfaat- en zwavelzuurfabriek, leidde dit tot onderzoek door het Rijkslandbouwproefstation in Hoorn en door de Delftse hoogleraar scheikunde S. Hoogewerff. Deze laatste concludeerde dat vooral van de aangetroffen fluorverbindingen gevaar te duchten was. Het bedrijf kreeg opdracht voorzieningen aan te brengen ter zuivering van de ontsnappende gassen. Sindsdien werden de afvoergassen met behulp van een ventilator in een 55 meter lang ondergronds gemetseld kanaal geleid en samen met de rookgassen van de zwavelzuurfabriek via een 59 meter hoge schoorsteen afgevoerd. In het gemetselde kanaal koelden de zwavelhoudende gassen af en reageerden de silicium- en fluorverbindingen met elkaar tot het zogeheten 'kiezelfluorwaterstofzuur' (H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>). Vermengd met andere verbindingen werd dit kiezelzuurslib wekelijks uit het kanaal geschept voor verdere verwerking.<sup>16</sup>

In Capelle a/d IJssel was de situatie nog ernstiger. Nadat daar in 1907 stofafzuigers waren geïnstalleerd om de arbeiders beter te beschermen, klaagden de omwonenden over een toegenomen stofoverlast. Toen in 1910 een tweede zwavelzuurfabriek in bedrijf kwam, was er sprake van 'pijn ... in de oogen en hoestbuien' en van problemen met het vee. Aangezien 'hevige kreupelheid der voorpooten en achteruitgaande melkproductie en voedingstoestand' op de werking van fluor wezen, kreeg ook dit bedrijf bij een fabrieksuitbreiding in 1912 de verplichting de gassen eerst door wastorens te leiden voordat zij door een 42 meter hoge schoorsteen zouden worden afgevoerd. Deze voorziening kon overigens, conform de toenmalige wetgeving, alleen bindend worden voorgeschreven voor de in 1912 aangevraagde uitbreiding. De vele bezwaren die tegen deze uitbreiding binnenkwamen, werden niet gehonoreerd omdat zij met de reeds gefiatteerde bestaande toestand verband hielden.<sup>17</sup>

Uiteindelijk gingen ook de andere superfosfaatfabrieken over tot de aanleg van was- of absorptiekamers. Het hierin gevormde kiezelfluorwaterstofzuur werd vervolgens in een aparte installatie met behulp van keukenzout in kiezelfluornatrium (kiezelzout, of Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>) omgezet, dat aan glas- en emailfabrieken kon worden



verkocht. Ondanks de voorzieningen was het fluorprobleem echter niet van de baan. Toen de superfosfaatfabrikanten in het Interbellum fosforzuur gingen maken – dat toen het sleutelproduct van de branche werd – voor de bereiding van het zogeheten ‘dubbelsuperfosfaat’ (een twee tot drie keer zo geconcentreerd superfosfaat, waardoor de transportkosten naar verre streken sterk omlaag gingen), kwam het probleem in volle omvang terug. Het fosforzuur moest in indampovens op sterkte worden gebracht en grote hoeveelheden fluoridedampen verdwenen daarbij door de schoorsteen. Uit de beschikbare dossiers doemt het beeld op dat met name de in Capelle genomen maatregelen verregaand onvoldoende waren. Keer op keer confronteerden veehouders het

gemeentebestuur met hun klachten, die vervolgens aan het Staatstoezicht op de Volksgezondheid werden voorgelegd. Dit leidde er uiteindelijk toe dat in mei 1941 een regeling werd getroffen met de fabrieksdirectie, waarbij de getroffen boeren een vergoeding kregen voor de geleden schade. Deze handelwijze is typerend voor die tijd. Fabrieksdirecties kozen liever voor het afkopen van de schade, dan voor de doorgaans duurdere aanpak van de oorzaak van het probleem. Tot ver na de Tweede Wereldoorlog zou de fluoruitstoot een van de grootste milieuproblemen van de superfosfaatindustrie blijven.<sup>18</sup>

Voor de arbeiders had de introductie van absorptiekamers en andere voorzieningen intussen gunstige gevolgen. De invoering

Tabel 2.1: De Nederlandse superfosfaat- en zwavelzuurfabrieken, 1890-1940

Locatie	Firma	Superfosfaat	Zwavelzuur	Ander hoofdproduct
Capelle a/d IJssel	Salomonson/ C.G.F.	1877	1904	-
Uden	Coenen & Schoenmakers	1882/ 1892 (tot 1916)	1892 (tot 1916)	mengmest
Hoogkerk	Van Hoorn, Luitjes en Kamminga	1892 (tot 1921?)	-	-
Zwijndrecht	I.G.S.W.	1896	1898	-
Vlake/Werkendam	Chemische Fabr. ‘Neerlandia’	1902 (tot 1907?)	1898? (tot 1910?)	mengmest
Amsterdam	ASF	1908	1917	-
Terneuzen	Nederlandsche Phosphaatmij.	1909? (tot 1915?)	-	-
Pernis	Superphosphaatfabr. ‘Holland’	1911	1929	-
Sas van Gent	N.N.M. etc. (St. Gobain)	1919	1919	spiegelglas
Veghel	Coenen & Schoenmakers	1920	-	-
Vlaardingen	E.N.C.K.	1921	1925	-
Budel	Gemengde Metaal-ertsen (K.Z.M.)	1935 (tot 1938)	1926	zink
Uithoorn	Ketjen	-	1857 (tot 1919)	-
Nieuwer-Amstel	Ketjen	-	1872 (tot 1903)	-
Amsterdam-Noord	Ketjen	-	1903	-
Lutterade/Geleen	Staatsmijnen	-	1930	zwavelzure ammoniak
Sluiskil	C.N.A.	-	1930	zwavelzure ammoniak
Maastricht	M.Z.M.	-	1931	zinkwit

Toelichting: In de tabel staan de jaartallen vermeld waarin een bepaalde fabriek in bedrijf kwam. Eerst zijn de superfosfaatproducenten vermeld, daaronder de overige zwavelzuurproducenten. Als een fabriek vóór 1940 sloot, is dit tussen haakjes aangegeven. Afkortingen: C.G.F. = Centrale Guano Fabrieken; I.S.G.W. = Internationale Superphosphaat en Guano Werken; ASF = Amsterdamsche Superfosfaat Fabriek; N.N.M. etc. =

Nieuwe Nederlandsche Maatschappij tot Vervaardigen van Spiegelglas, Glazen Voorwerpen en Chemische Producten; E.N.C.K. = Eerste Nederlandsche Coöperatieve Kunstmestfabriek; K.Z.M. = Kempensche Zink Maatschappij; Ketjen = Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding, voorheen G.T. Ketjen & Co.; C.N.A. = Compagnie Néerlandaise d’Azote; M.Z.M. = Maastrichtsche Zinkwit Maatschappij.

van de mechanische mengpannen vormde een eerste stap in de verbetering van de arbeidsomstandigheden. Later verschenen exhausters, ventilatoren, afzuig- en gaswasinstallaties ten tonele en vlak voor de Eerste Wereldoorlog mechanische inrichtingen om de kelders leeg te halen. Vooral deze laatste maatregel vormde een grote sprong voorwaarts. De Zwijndrechtse fabriek liep daarbij voorop.<sup>19</sup>

Nadat eerst de gevaarlijkste onderdelen van het productieproces waren gemechaniseerd, volgden de laad-, los- en transportsystemen. Voor het sjuwen met de grondstoffen kwamen laad- en losinrichtingen met kranen en kipwagentjes op rails in de plaats. Alle fabrieken en loodsen waren via rails met elkaar verbonden.

Binnen de fabrieken vond het transport doorgaans plaats met behulp van transportbanden en met mechanische 'ladders' of elevatoren. Zwavelzuur werd nu in tankschepen vervoerd en op het terrein door pijpleidingen naar zijn bestemming gepompt, als er al geen sprake was van een eigen zwavelzuurfabriek. Het duurde echter tot na de Tweede Wereldoorlog eer al het zware handwerk was verdwenen. Kruiwagens en schop speelden nog lang een rol, evenals het zware werk met de pikhouweel. Ook werd het gereed product, superfosfaat, nog tot in de jaren vijftig in jutezakken versjouwd.<sup>20</sup>

## Zwavelzuur

Voor de groeiende hoeveelheden superfosfaat die in Nederland werden geproduceerd, was ook steeds meer zwavelzuur nodig. De superfosfaatindustrie werd een grootverbruiker. F.H. Eijzman, de auteur van een toen bekend leerboek, schatte in 1905 dat de superfosfaat-, de zeep- en de glasindustrie samen 90% van al het verdunde zwavelzuur afnamen. Toen vanaf ongeveer 1930 ook de fabricage van zwavelzure ammoniak op zeer grote schaal ter hand werd genomen, werd deze binnen de kunstmestindustrie een tweede grote afnemer van zwavelzuur. In 1939 nam de Nederlandse kunstmestindustrie 71% van het binnenlands verbruik voor haar rekening, waarbij de superfosfaatfabrieken goed waren voor 31% en de producenten van zwavelzure ammoniak voor 40% van het totaal. Dat het lot van de zwavelzuurfabricage in de twintigste eeuw ten nauwste met de kunstmestindustrie verbonden was, hoeft geen betoog. De situatie week daarmee sterk af van die in de negentiende eeuw.<sup>21</sup>

Al snel zagen superfosfaatfabrikanten in dat het grote voordelen kon hebben om zwavelzuur zelf te gaan maken. Allereerst kon men flink besparen op transportkosten, want het matig sterke zuur dat werd gebruikt, bevatte 30% water en was zodoende onnodig duur in het transport. Een tweede reden was dat men verzekerd was van een permanente aanvoer van het zwavelzuur, dat een cruciale rol speelde in het gehele productieproces. De soms erg gespannen zwavelzuurmarkt en allerlei andere omstandigheden

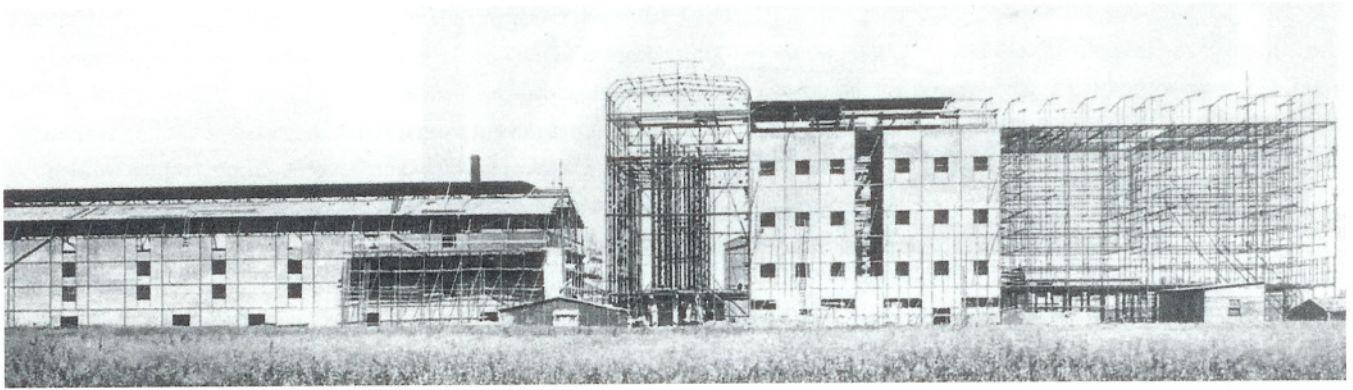
konden geen permanente aanvoer garanderen.<sup>22</sup>

Er was echter ook een belangrijke reden om niet tot de bouw van een eigen zwavelzuurfabriek over te gaan: de aanvoer van goedkoop zwavelzuur vanuit België. Protesten tegen de enorme luchtvervuiling die ze veroorzaakten, dwongen de zinkfabrikanten in België om hun zwavelhoudende afvoergassen om te zetten in zwavelzuur. De zinkindustrie had echter geen belangstelling voor het ontstane restproduct en dumpte dit 'acide fatal' tegen afbraakprijzen op de Nederlandse markt. Aan het begin van de jaren twintig bijvoorbeeld stond tegenover een binnenlandse productie van 140.000 ton zwavelzuur een buitenlandse invoer van 190.000 ton, die grotendeels uit België kwam.<sup>23</sup>

Nederlandse zwavelzuurfabrikanten moesten zich commercieel en technologisch tot het uiterste inspannen om de Belgische concurrenten de baas te blijven. Zwavelzuurfabrikant Ketjen pakte het handig aan: hij bouwde een moderne fabriek én werd handelaar in Belgisch zwavelzuur op de Nederlandse markt. Omdat de aanvoer en de prijs van pyrietertsen (de grondstof voor zwavelzuur) en van het Belgische 'acide fatal' geen van beide constant waren, was het overigens soms wél mogelijk om in Nederland goedkoper te produceren.<sup>24</sup>

Alle voor- en nadelen afwegend besloten de meeste Nederlandse superfosfaatfabrikanten tot de bouw van een eigen zwavelzuurfabriek (tabel 2.1). Coenen & Schoenmakers openden in 1892 de rij, en Zwijndrecht (1898), Capelle (1904), Amsterdam (1917), Sas van Gent (1919), Vlaardingingen (1925) en Pernis (1929) volgden. Alleen enkele kleinere fabrikanten zagen ervan af. De Hoogkerkse fabriek kreeg haar zwavelzuur uit Duitsland en de fabriek in Veghel lag zo gunstig aan de Zuid-Willemsvaart dat Coenen & Schoenmakers bij de verhuizing vanuit Uden besloten geen nieuwe zwavelzuurfabriek meer te bouwen. Het 'acide fatal' uit de Belgische Kempen, en later uit Budel, kon immers tegen zeer geringe kosten worden aangevoerd.<sup>25</sup>

Toen de vijf belangrijkste superfosfaatfabrieken zich in de Eerste Wereldoorlog verenigden tot de ASF/VCF-combinatie, ontstond niet alleen het grootste superfosfaatconcern van Nederland, maar ook de grootste zwavelzuurproducent van het land (de ASF bestond uit de fabrieken in Amsterdam en Pernis, de Vereenigde Chemische Fabrieken – VCF – uit die in Zwijndrecht, Capelle en Hoogkerk). Lange tijd zou de in 1948 tot Albatros Superfosfaatfabrieken omgedoopte combinatie die vooraanstaande positie behouden. Van de overige zwavelzuurproducenten was er slechts één – de Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding – voor wie dit zuur hoofdproduct was. De andere producenten maakten ofwel 'acide fatal' (Budel, Maastricht), of waren ammoniakfabrieken die het zuur nodig hadden om dat product in zwavelzure ammoniak om te zetten (Lutterade, Sluiskil).<sup>26</sup>



## Het lodenkamerproces

Om het voor de superfosfaatfabricage benodigde matig geconcentreerde zwavelzuur te produceren, stond sinds het begin van de negentiende eeuw het lodenkamerproces ter beschikking. In dat proces werd zwavel in grote loden kamers verbrand in aanwezigheid van stikstofoxiden, waardoor zwaveltrioxide ( $\text{SO}_3$ ) ontstond, dat met het op de bodem van de kamers aanwezige water zwavelzuur vormde. Vanaf 1833 was dit proces in Nederland ingevoerd. In 1860 was de totale productiecapaciteit van de vijf toen aanwezige fabrieken ongeveer 3500 ton.<sup>27</sup>

Tezelfdertijd vonden in het buitenland enkele belangrijke technische ontwikkelingen plaats, die ook Nederland bereikten. Terwijl de oudste lodenkamerfabrieken zwavel als grondstof gebruikten, kwam na 1850 het gebruik van het goedkopere zwavelkies of pyriet (= zwavelhoudend ijzererts) geleidelijk in zwang. Dit pyriet diende in een ander type ovens te worden verbrand en vergde een grotere luchttoevoer en daarmee grotere loden kamers, omdat ook ijzeroxide werd gevormd. Verschillende ovenvarianten volgden elkaar in hoog tempo op, waarbij de capaciteit toenam van enkele honderden kilo's per dag tot vele duizenden kilo's. Tegelijkertijd nam ook de omvang van de loden kamers toe van 1000 m<sup>3</sup> per kamer rond het midden van de eeuw tot 5000 m<sup>3</sup> aan het einde van de eeuw, toen stemmen opgingen dat de schaalvergroting op dit punt zijn grenzen had bereikt.<sup>28</sup>

Omstreeks de eeuwwisseling onderscheidde men drie soorten ovens: de grofkiesovens voor grote stukken pyriet, de fijnkiesovens voor pyrietgruis en ovens voor de zinkblende, die in de zinkindustrie in gebruik waren voor de productie van zink en 'acide fatal'. Terwijl met de oudste ovens steeds ladingsgewijs werd gewerkt, lukte het om met name de fijnkiesovens verregaand te mechaniseren, waardoor met een klein aantal arbeiders in volcontinuïedienst kon worden volstaan. Bij de na 1900 zeer populaire Herreshoff-oven konden twee arbeiders tien ovens tegelijk bedienen en zo een doorzet halen van 30 ton geroost pyriet per dag (roosten is het verhitten van erts onder toetreding van lucht). Bovendien had deze werkwijze grote brandstofeconomische voordelen omdat de ovens bij continuïedienst op temperatuur konden blijven. Deze

*De bouw van de lodenkamerfabriek van de ASF/VCF-superfosfaatfabrieken te Pernis (1928/29). Links het ovengebouw voor de Lurgi-pyrietovens. Rechts het in aanbouw zijnde gebouw voor de loden kamers. Het hoge gedeelte in het midden*

*was voor de Glover- en Gay-Lussac-torens bestemd. De fabriek kreeg een capaciteit van 47.000 ton zwavelzuur per jaar. Een identieke fabriek verrees twee jaar later bij Staatsmijnen.*

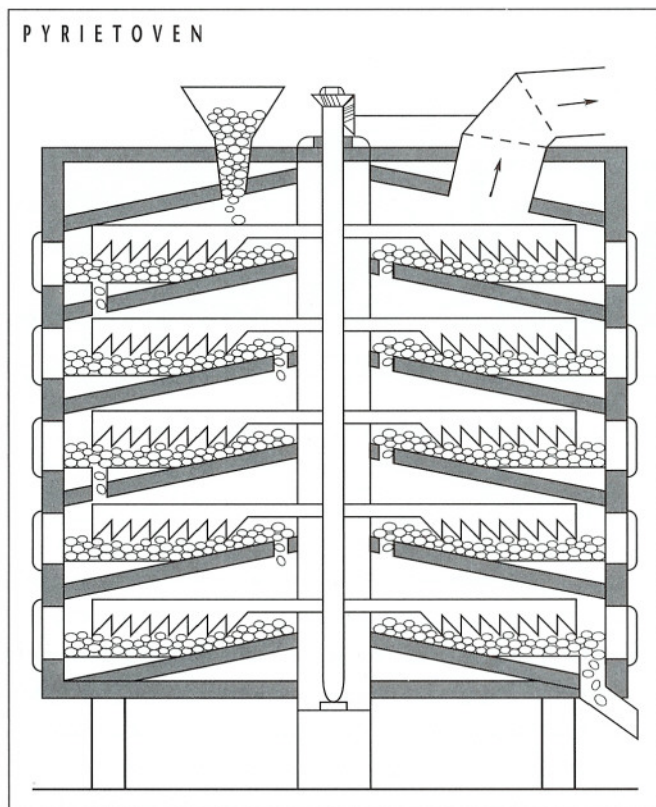
verbeteringen horen tot de belangrijkste technische oorzaken voor de voortdurende capaciteitsstijging van zwavelzuurfabrieken die vanaf de laatste decennia van de negentiende eeuw plaatsvond. Ook economische factoren speelden echter daarbij een rol, zoals een stijgende vraag naar zwavelzuur en de aard van de concurrentieverhoudingen.<sup>29</sup>

### *Gay-Lussac- en Glover-torens*

Wijzigingen in de productie van zwavelzuur vonden ook plaats door enkele veranderingen die werden afgedwongen door jarenlang burgerprotest tegen de luchtverontreiniging die deze fabrieken veroorzaakten. Terwijl de vroege zwavelzuurindustrie reeds berucht was vanwege haar grote uitstoot van stikstof- en zwaveloxiden, namen de problemen bij de moeilijk te reguleren pyrietovens eerder toe dan af. Nieuwe installaties, zoals de in 1827 uitgevonden Gay-Lussac-toren en de tussen 1853 en 1864 ontwikkelde Glover-toren, kregen nu een kans. Fabrikanten in Engeland en Duitsland werden al snel onder druk gezet door overheden en wetenschappers om de nieuwe technieken in te voeren.<sup>30</sup>

In Nederland, waar de chemische industrie minder ver ontwikkeld was, nam de Utrechtse zwavelzuurfabrikant Wed. P. Smits & Zoon het voortouw. In 1862 kreeg de Duitse chemicus Ludwig Mond de opdracht zijn zwavelovens tot pyrietovens te verbouwen. Vele moeilijkheden moesten echter worden overwonnen eer hij de zaak behoorlijk aan de gang kreeg, vooral daar iedere partij pyriet weer andere resultaten gaf. Tien jaar later volgde Ketjen, met een loden kamer van 6000 m<sup>3</sup> waarmee hij jaarlijks 4000 ton kon produceren – een verzesvoudiging van zijn productie. In 1894 beschikten de zwavelzuurfabrieken van Ketjen in Nieuwer-Amstel en Uithoorn over Gay-Lussac- en Glover-torens.<sup>31</sup> Ook bij alle latere Nederlandse zwavelzuurfabrieken was dit het geval.

De pyrietoven, de twee typen torens en de loden kamers vormden



Een dwarsdoorsnede van de veel gebruikte, continu werkende Herreshoff-etageoven voor het roosten van pyriet, zoals de firma Lurgi die op de markt bracht. Pyrieterts (ijzersulfide) wordt van boven in de vuurvaste stenen oven gestort, die met lucht wordt gestookt (roosten), waardoor het ijzersulfide wordt geoxideerd tot onzuiver ijzeroxide (pyrietas) en tot gasvormig zwaveldioxide, dat boven in de oven naar elektrofilters wordt afgevoerd om van vlieg-as te worden gescheiden, waarna het naar de Glover-

torens wordt geleid. De (exotherme) reactie houdt zichzelf aan de gang. Er is geen additionele brandstof nodig. Rondraaiende getande roeders houden de gloeiende pyrietmassa voortdurend in beweging en zorgen zo voor een goed contact met de verbrandingslucht en voor een geleidelijk transport van het pyriet naar een lager gelegen etage. Het restproduct pyrietas wordt uiteindelijk onder in de oven afgevoerd.

een nauw met elkaar samenhangend geheel. Dit totaalconcept van een continu werkend bedrijf kwam omstreeks 1870 tot stand. Het beheerste in essentie de lodenkamertechnologie tot na de Tweede Wereldoorlog. Vergeleken met het oude systeem, zorgde de toevoeging van Gay-Lussac-torens alleen al door de terugwinning van stikstofoxiden voor een 25 tot 33 procent grotere zuurproductie. De Glover-toren was goed voor een additionele stijging van 16 procent, zodat het nieuwe systeem als geheel een 40 tot 50 procent hogere productie opleverde.

### Schaalvergroting

De verdere ontwikkeling van het lodenkamerproces in Nederland is interessant vanwege de specifieke aard van de schaalvergroting. In technisch opzicht waren het met name de ontwikkelingen op het gebied van de oventechniek die schaalvergroting mogelijk maakten. Van belang was tevens dat de kapitaallasten bij vergro-

ting van de loden kamers kwadratisch toenamen (nl. afhankelijk van het loodoppervlak) terwijl de output toenam met de derde macht (nl. afhankelijk van het volume van de kamers). In het samenspel van factoren waren er echter ook grenzen: zo moest bijvoorbeeld de geproduceerde reactiewarmte kunnen worden afgevoerd, anders werd de schaalvergroting contraproductief. Als deze grenzen zijn bereikt, dan is schaalvergroting alleen nog mogelijk door 'meer van hetzelfde'. Dit was bijvoorbeeld het geval voordat eind jaren dertig een maximale omvang van circa 30.000 ton per kamer werd gehaald.<sup>32</sup>

Had de introductie van de pyrietovens omstreeks 1870 de capaciteit per fabriek van 700-1000 ton/jaar op 4000 ton gebracht, tot het einde van de eeuw kwam hierin weinig verandering meer. Na 1910 werd een capaciteit van ongeveer 12.000 ton per kamer de standaard nadat het Duitse ingenieursbureau Lurgi erin geslaagd was de capaciteit van de Herreshoff-oven tot 40 ton/dag op te voeren. Zette de Amsterdamsche Superfosfaat-Fabriek in 1917 een fabriek van 30.000 ton/jaar neer, rond 1930 hadden de nieuwe, uit drie kamers bestaande, fabrieken een capaciteit van 45.000 ton per jaar. Door 'oprekken' en vergroting van de oven capaciteit wist de ASF/VCF-combinatie haar uit drie kamers bestaande lodenkamerfabriek in Pernis later nog uit te breiden tot ongeveer 100.000 ton/jaar, maar daarmee was de grens van het systeem wel bereikt.<sup>33</sup> Niet alleen de capaciteit per eenheid steeg indrukwekkend, ook de totale jaarproductie nam fors toe. Werd in 1910 in Nederland nog 25.000 ton zwavelzuur geproduceerd (berekend als 100% zuur), in 1932 was dit reeds tot 500.000 ton gestegen. Deze toename was niet enkel te danken aan uitbreidingen van bestaande fabrieken, maar ook aan de bouw van nieuwe (zie tabel 2.1).<sup>34</sup>

Dat verdere schaalvergroting 'meer van hetzelfde' werd, is bijzonder duidelijk in het geval van de zwavelzuurfabriek die een Belgisch-Italiaanse combinatie in 1930 in Sluiskil neerzette. Met een capaciteit van 240.000 ton/jaar was dit toen de grootste lodenkamerfabriek ter wereld en de grootste ooit in Nederland gebouwd. Dit cijfer vertelt echter slechts de halve waarheid. Deze kolos was namelijk geen geïntegreerde installatie. Rond een centrale ovenhal stonden acht gebouwen opgesteld die elk twee loden kamers bevatten, zodat de capaciteit per loden kamer op de toen gebruikelijke omvang van 15.000 ton/jaar uitkwam.<sup>35</sup>

### Luchtverontreiniging

Hoewel al deze fabrieken van Gay-Lussac- en Glover-torens waren voorzien, betekende dat niet dat de milieuproblemen nu tot het verleden behoorden. Daar zijn verschillende redenen voor. Een systeem met Gay-Lussac- en Glover-torens dat bij normaal bedrijf goed werkte, deed dit niet zonder meer als de fabriek moest worden opgestart, of als er storingen optraden. Dit laatste was niet zelden het geval, hoewel een goede procesregeling het aantal storingen aanzienlijk kon beperken. Daarnaast zorgde het voort-

## Torens en zuren

### De Gay-Lussac- en de Glover-toren

Gay-Lussac- en Glover-torens waren van binnen met lood beklede gevaarten van ongeveer 15 meter hoog, die gevuld waren met grof vulmateriaal als cokes, zuurbestendige Volviclava of later speciaal voor dat doel ontwikkelde kunstmatige stenen en Raschig-ringen. Door het aanbrengen van deze vulling konden de van beneden naar boven door de installaties opstijgende zwavel- en stikstofdampen in nauw contact komen met vloeistoffen die van boven naar beneden stroomden. In de Gay-Lussac-toren, die na de loden kamers was geplaatst, losten stikstofoxiden uit de afvoergassen van de kamer op in het van boven naar beneden stromende geconcentreerde zwavelzuur. Het salpeterverbruik van een met pyriet gestookte lodenkamerfabriek kon zo worden teruggebracht van 9-14% naar 1-3%.

Het restant ging, als voorheen, door de schoorsteen naar buiten.

Het zuur op de bodem van de Gay-Lussac-toren (nitrose geheten), dat rijk aan stikstofoxiden was, werd vervolgens naar de top van de Glover-toren gepompt, vanwaar men het verdund met kamerzuur naar beneden liet vallen langs een opstijgende stroom hete roostgassen. Tijdens dit proces gebeurden er diverse zaken tegelijk: de roostgassen namen stikstofoxiden uit de nitrose op, hetgeen essentieel was voor de vorming van zwavelzuur, terwijl ze tevens afkoelden en water(damp) opnamen. Door het verlies aan water en de vorming van nieuw zuur uit het mengsel van de in de toren aanwezige zwavel- en stikstofoxiden werd het neerstromende zuur tevens geconcentreerd, waardoor een deel ervan als geconcentreerd zuur naar de top van de Gay-Lussac-toren kon worden teruggevoerd (zie figuur).

### Handelszuren

Zwavelzuurfabrieken die werkten volgens het lodenkamerproces, brachten doorgaans drie kwaliteiten

zwavelzuur in de handel, die in sterkte en zuiverheid verschilden. Deze sterkten werden uitgedrukt in graden Baumé (°Bé), een maat voor het soortelijk gewicht van het zuur.

### Kamerzuur

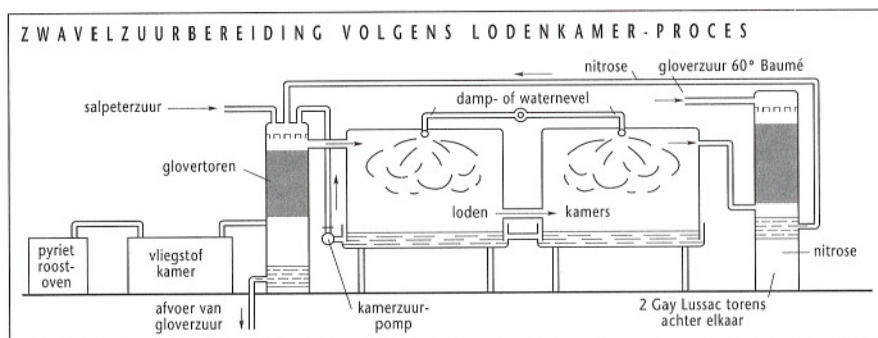
Het zogeheten kamerzuur vormde de grootste partij. Het werd uit de loden kamer getapt en bevatte 65% zwavelzuur, dat is een sterkte van 50-55°Bé.

### Glover-zuur

Daarnaast werd een hoeveelheid Glover-zuur geproduceerd, met een sterkte van 60°Bé (78% zwavelzuur). Glover-zuur was doorgaans sterk verontreinigd met ijzer- en arsenicumzouten, die in de vorm van vliegias uit de pyrietovens vrijkwamen. Deze (giftige) verontreinigingen maakten dit zuur voor weinig toepassingen geschikt, maar het algemeen gevoelen omstreeks de eeuwwisseling was dat het zonder bezwaar voor de fabricage van superfosfaat gebruikt kon worden. Gemengd met kamerzuur had het de sterkte die theoretisch voor de fabricage van superfosfaat nodig was.

### Sterk geconcentreerd zwavelzuur

Gespecialiseerde zwavelzuurfabrieken maakten bovendien een derde kwaliteit zwavelzuur met een sterkte van 66°Bé (ca. 93% zwavelzuur) door concentratie van 50-55°Bé en gezuiverd 60°Bé zuur in loden en platinapannen, of in speciale concentreringsinstallaties van moderner ontwerp. Dit hooggeconcentreerde zuur was onmisbaar voor onder andere de raffinage van petroleum en vele reacties in de synthetisch-organische chemie (kleurstoffen, farmaceutica, explosieven), maar ook zeer gewenst bij transport voor lange afstanden, omdat zo de transportkosten aanzienlijk werden verlaagd. Tezamen konden deze kwaliteiten zo breed worden ingezet binnen en buiten de chemische industrie dat ze de zwavelzuurfabricage maakten tot de chemische sleutelindustrie van de negentiende en vroege twintigste eeuw.



Bronnen: C.T. Kingzett, *The history, products and processes of the alkali trade* (Londen 1877) 40-44; F.H. Eijndman jr., *Leerboek der chemische technologie* (Amsterdam 1906) 29-53; J.S. Doting en H.I. Waterman, *Handleiding bij de studie van het zwavelzuurbedrijf* (Dordrecht 1930) 21-148; W.M.M. Pilaar, *Gij en de industrie. Chemische techniek voor iedereen* (Amsterdam 1943) 76-94; T.I. Williams, *The chemical industry: past and present* (Londen 1953) 53-59, 94-95.

durende streven naar schaalvergroting voor problemen als niet alle onderdelen van de fabriek tegelijkertijd werden uitgebreid.

Vergroting van de ovencapaciteit en uitbreiding van de productie van de loden kamers zonder het aantal torens uit te breiden, was vragen om moeilijkheden. Deze deden zich bijvoorbeeld voor toen de superfosfaatfabriek in Capelle a/d IJssel vanaf 1926 de fabriekscapaciteit vergrootte tot ongeveer 120 ton 60°Bé zuur per dag. Niet alleen waren er uitbreidingen in de *hard ware*, ook werd het zogenaamde 'intensiefsysteem' ingevoerd. Bij dit systeem bracht men meer stikstofoxiden in omloop, waardoor meer zwaveldioxide in zwavelzuur werd omgezet. Zonder uitbreiding van de Gay-Lussac-torens leidde dit echter tot een zeer hinderlijke uitstoot van gele en rode stikstofverbindingen. Dit gebeurde in de fabriek aan het Kralingse Veer en het is interessant te zien hoe omstreeks 1930 met zulke kwesties werd omgegaan.<sup>36</sup>

Direct bij de aanvraag tot bedrijfsuitbreiding in juli 1926 vroeg het gemeentebestuur van Capelle advies aan de Inspecteur van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid over de voorwaarden waaronder de vergunning verleend kon worden. Deze liet metingen uitvoeren om de samenstelling van de rookgassen te bepalen en vergeleek de resultaten met de prestaties van andere zwavelzuurfabrieken in binnen- en buitenland. De uitstoot in Capelle bleek – wat omwonenden reeds verwacht hadden – inderdaad fors aan de hoge kant te zijn en de fabriek kreeg enkele voorwaarden opgelegd. Deze waren echter onvoldoende – of werden onvoldoende in praktijk gebracht – want na de uitbreiding van de fabriek namen de klachten alleen maar toe. De inspecteur schakelde daarop de Delftse hoogleraar scheikunde H.I. Waterman in. Deze schreef daarop een rapport waarin hij aantoonde dat het 'intensief systeem' de capaciteit van de loden kamers dusdanig opvoerde dat de bestaande Gay-Lussac-torens de stroom uitlaatgassen niet konden verwerken. Hij gaf bovendien gedetailleerde aanwijzingen welke aanpassingen aan de torens en in de procesregeling nodig waren om de uitstoot aan zure gassen te reduceren. De directie van de VCF ging echter maar op een deel van de aanbevelingen in en de problematiek sleepte zich nog jaren voort. Blijkbaar hadden het gemeentebestuur en het Staatstoezicht op de Volksgezondheid onvoldoende bestuurlijke middelen om de fabriek tot een andere koers te dwingen.<sup>37</sup>

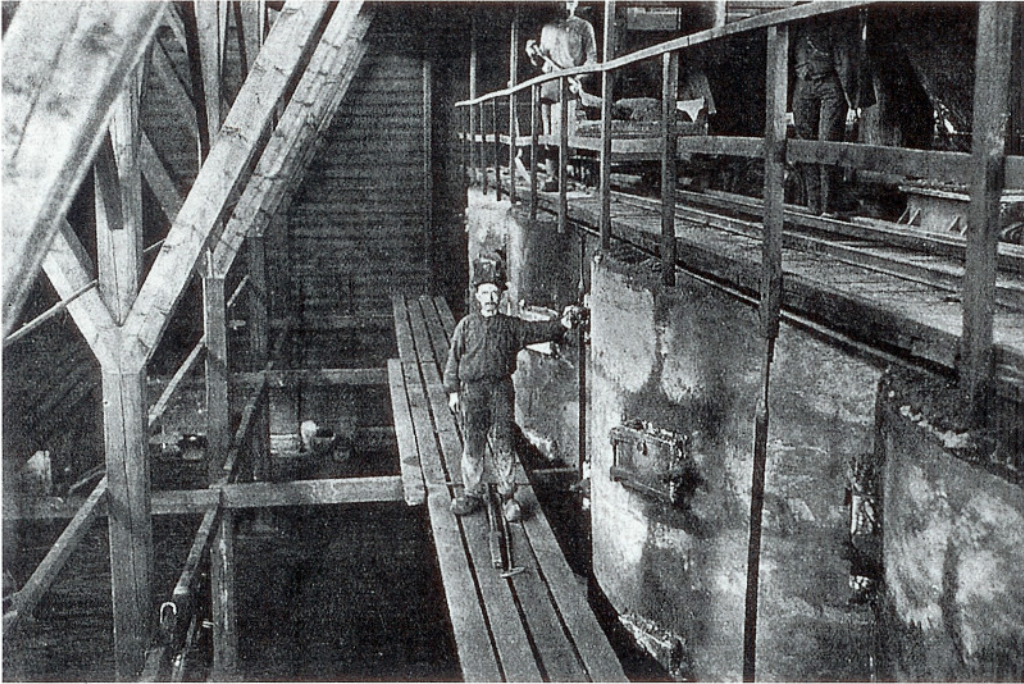
Wanneer we ons herinneren dat de fabriek in die tijd ook in opspraak was vanwege de uitstoot van fluorverbindingen, wordt duidelijk dat gecombineerde superfosfaat/zwavelzuur-fabrieken een aanzienlijke milieuoverlast konden veroorzaken. Ook de meststoffenfabrieken in Zwijndrecht, Vlaardingen, Geleen-Lutterade en Sluiskil kwamen in de eerste decennia van de eeuw regelmatig in opspraak vanwege de aan die bedrijven verbonden zwavelzuurfabrieken.<sup>38</sup>

### **Procescontrole en arbeid**

Het vanaf 1870 ontwikkelde totaalconcept van een lodenkamerfabriek met Glover- en Gay-Lussac-torens zorgde voor een productieproces dat indertijd behoorlijk complex was. Zaken als de omvang van de luchtstroom, de hoogte van de temperatuur en de recirculatiesnelheid van de stikstofoxiden hadden een grote invloed op de rendementen van de fabriek en op de kwaliteit van de uitlaatgassen. Het afregelen van een dergelijk proces kon moeilijk slechts door zintuigelijke inspectie geschieden, de werkwijze die tot dan toe in de chemische industrie gebruikelijk was. Lodenkamerfabrieken horen dan ook tot de allereerste fabrieken waar een op metingen gebaseerde vorm van procesregeling werd geïntroduceerd. De praktijk om de luchttoevoer naar de pyrietovens te regelen op grond van de chemische samenstelling van de uitlaatgassen uit de Gay-Lussac-torens, was bijvoorbeeld aan het einde van de negentiende eeuw in de meeste fabrieken ingevoerd. De Duitse econoom E. Drösser beschrijft de methode althans als tot de standaardpraktijk van het zwavelzuurbedrijf behorend.<sup>39</sup> Daarnaast voerden de fabrikanten nog andere regelmechanismen in, waarbij men ernaar streefde deze zoveel mogelijk te automatiseren. Naast de invoering van mechanische roostovens ging het bijvoorbeeld om het automatiseren van de luchttoevoer of trek door de kamers en om de invoering van automatisch werkende zuurhevels of hevelpotten, die het zuur uit de loden kamers afvoerden, waardoor het vloeistofniveau op de bodem van de kamers altijd hetzelfde was. De verantwoordelijke baas van de fabriek en de kamerwacht regelden echter ook nog zaken als de toevoer van stoom en salpeter met de hand, op grond van voortdurende metingen van de temperatuur, van het zuurgehalte in de torens en de kamers en op basis van de kleur van de uitlaatgassen. Meting van de zuursterkte gebeurde met de areometer van Baumé; bij de uittredende gassen ging het er in 1908 nog om deze zo te krijgen dat een lichtgele kleur net waarneembaar was. Bij de temperatuurregeling moest er bijvoorbeeld voor gezorgd worden dat het temperatuurverschil tussen de in- en de uittredende gassen constant op 35°C werd gehouden.<sup>40</sup>

Door al deze regelmechanismen kon met zeer weinig personeel worden volstaan. In de zwavelzuurfabriek te Uithoorn, bijvoorbeeld, waar in 1915 drie lodenkamerfabrieken van elk drie tot vier kamers stonden opgesteld, die per fabriek ongeveer tien ton per dag produceerden, werkten per fabriek slechts acht arbeiders, verdeeld over twee ploegen van vier. Per arbeider werd toen in volcontinuïe dienst 1,3 ton zwavelzuur per dag geproduceerd.<sup>41</sup>

Door de schaalvergroting aan het eind van de jaren twintig steeg de arbeidsproductiviteit per werknemer verder. Bij Ketjen produceerde de in 1929 ten behoeve van de Mekog gebouwde lodenkamerfabriek met slechts acht arbeiders meer dan 45.000 ton zwavelzuur per jaar, dat is ruim vijftien ton 60°Bé zuur per arbeider per dag.<sup>42</sup> In korte tijd was de arbeidsproductiviteit dus ruim



*Het ovengebouw van de zwavelzuur-fabriek van de Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding, v/h G.T. Ketjen & Co. te Uithoorn, omstreeks 1915. Vier Herreshoff-ovens stonden naast elkaar opgesteld om zwaveldioxide voor één stel van vier in serie geschakelde loden kamers te leveren. De fabriek in Uithoorn beschikte in totaal over tien pyrietovens. De ovens werden van boven door arbeiders handmatig gevuld. Het afvoeren van de gloeiend hete pyrietas – onder in de ovens – was het zwaarste en ongezondste karwei in het zwavelzuurbedrijf.*

vertienvoudigd. In een moderne middelgrote zwavelzuurfabriek, vertelt Drösser in 1908:

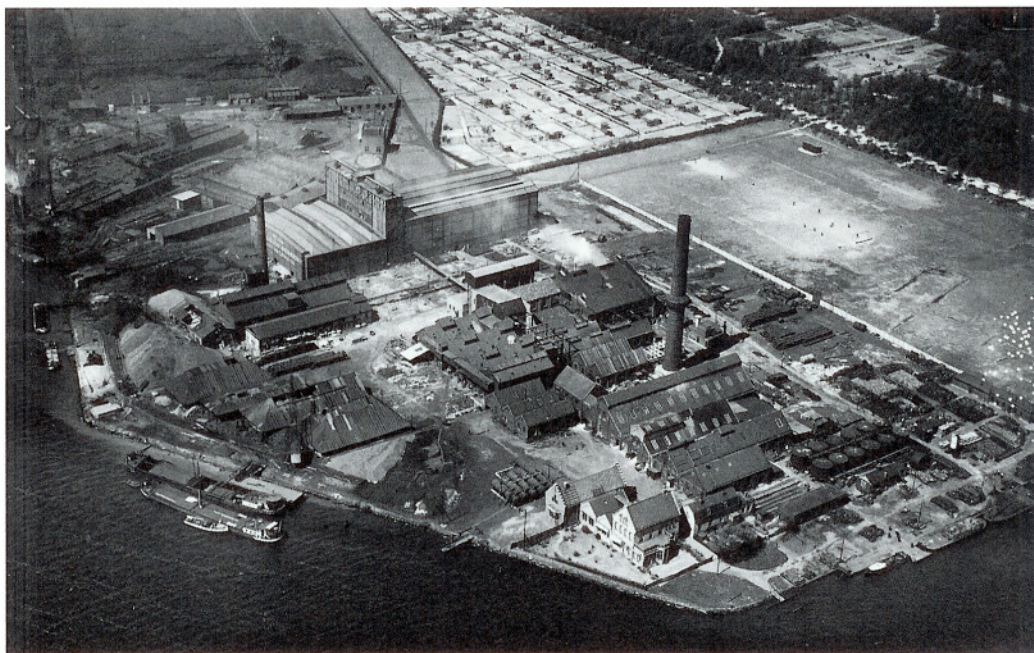
‘krijgt een bezoeker de indruk, alsof de geweldige langgerekte loden kamers, de hoge torens, de grote electrisch aangedreven, kalm roterende mechanische roostovens, de hete concentratie-apparaten aan zichzelf overgelaten zonder enige menselijke tussenkomst hun taak verrichten. Een enkele man houdt de kamers en torens in de gaten, een enkeling bedient de mechanische roostovens, een enkeling houdt toezicht op de concentratie (installatie). – De deelname van arbeiders aan het productieproces is hier kwantitatief tot het uiterste gereduceerd.’<sup>43</sup>

Het beeld dat Drösser hier oproept, verschilt aanzienlijk met dat van de superfosfaatfabrieken. Terwijl in deze laatste fabrieken de ongeschoolde zware lichamelijke arbeid overheerste, meet- en regelapparatuur tot 1950 afwezig was en er een voortdurende wiseling was van personeel, werkten zwavelzuurfabrieken, met uitzondering van de sjouwers die de pyrietovens moesten vullen en de as moesten verwijderen, met een kern van vaste, goed geschoolde arbeiders. Om de eerder beschreven controletaken uit te voeren, was een goed verstand en langdurige ervaring nodig. Anders dan in een superfosfaatfabriek was er een duidelijke rangorde en een uitgestippelde carrièreweg in het lodenkamerbedrijf.<sup>44</sup>

Vaak zag deze carrièreweg er als volgt uit. Nieuw aangestelde arbeiders van ongeveer twintig jaar werden eerst met allerlei hulp- en transportactiviteiten belast, zoals het laden en lossen van de pyrietovens. Dit was het zwaarste en ongezondste werk op de fabriek. Bij het afvoeren van de gloeiend hete, nog dampende

pyrietas kregen de arbeiders soms blaren op hun handen en gaten in hun kleren van de rondstuivende as. Na enige tijd stelde men dan de ouderen onder hen aan als bedienend personeel van de ovens. Na een dag of vijf bij een ervaren ovenarbeider in de leer te zijn geweest, konden zij die taak zelf uitoefenen. Dit is naar huidige maatstaven een korte inwerktijd, maar vergeleken met de gebruikelijke dagloners in het superfosfaatbedrijf juist lang. Uit de beste ‘ovenisten’ rekruteerde de bedrijfsleiding de opzichters van de torens en kamers. Na jarenlange ervaring kon de bekwaamste kamerwacht nog promotie maken tot meesterknecht of baas van de lodenkamerfabriek. Daarboven stond dan soms nog een bedrijfsleider, maar dat was een figuur die niet uit de arbeiders voortkwam. Al dan niet academisch geschoold, was hij verantwoordelijk voor het doorvoeren van verbeteringen in het productieproces, voor het bedrijfslaboratorium, waar pyrietmonsters en andere chemicaliën werden geanalyseerd, en voor alle andere technische bedrijfstaken die niet tot de dagelijkse routine behoorden.<sup>45</sup> Bij een regeltechnisch zo complex bedrijf kon de aan- of afwezigheid van ervaren personeel het verschil tussen winst en verlies uitmaken – en tussen het veroorzaken van weinig en veel milieu-overlast. Een wetenschappelijk gevormde bedrijfsleider had daarbij zeker geen voordelen boven een in de praktijk gevormde baas. ‘Iedere oven, iedere pyrietsoort moest eerst uitgeprobeerd worden, eer een regelmatig bedrijf mogelijk was.’ Bovendien, zo vervolgt Drösser, was ‘iedere kamer als een individu met volledig verschillende eigenschappen, die iedere kameropzichter opnieuw diende te leren kennen, eer hij de zaak onder controle had’. Dit was dan ook de gouden tijd voor bazen met veel ervaring, het onderwerp van vele sterke verhalen en vaak potentaten op hun terrein. De directie had

Luchtopname van de zwavelzuur-fabrieken van de Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding, v/h G.T. Ketjen & Co. in Amsterdam-Noord (1928). Middenboven de in 1917 gebouwde lodenkamerfabriek, met een capaciteit van 10.000 ton 60°Bé zuur per jaar. Ze bestaat uit een ovengebouw (links), en hoog middengedeelte met de torens, en een fabriekshal met loden kamers (rechts). Rechts onder, links van de stenen schoorsteen, de gebouwen van de tussen 1901 en 1903 gebouwde contactzwavelzuurfabriek, met een batterij wastorens voor het zuiveren van het zwavel-dioxidegas (met schuur bovenop). Op de kaden onder en links hopen pyriet en pyrietas. Rechts onder de kade voor de afvoer van producten, met zwavelzuur-tanks en mandflessen.



maar weinig greep op hen en in Pernis noemde een van de directeurs de chefsploeg zelfs 'het schaduwkabinet'.<sup>46</sup>

## Het contactproces

Met het lodenkamersysteem konden grote hoeveelheden matig geconcentreerd zwavelzuur worden verkregen. Sterker geconcentreerd zwavelzuur (93-97%) verkreeg men door verhitting in platinaketels of een concentratieapparaat. Wel hing er een prijskaartje aan het gebruik van deze kostbare apparatuur. Een platinaketel kostte afhankelijk van de grootte f 15.000,- tot f 35.000,-, een voor die tijd zeer hoog bedrag. Terwijl de kostprijs van kamerzuur aan het begin van de eeuw ongeveer f 1,40 per 100 kg was, was deze voor 66°Bé zuur f 1,60 en voor 97% zuur zelfs f 1,90.<sup>47</sup>

Zwavelzuur van een nog grotere sterkte kon echter niet met deze methoden worden gemaakt. Voor de bereiding van rokend zwavelzuur of oleum (een 'oplossing' van zwaveltrioxide in 100% zwavelzuur, met de brutoformule  $H_2S_2O_7$ ) bestond een geheel ander proces, een voortzetting van de oeroude ambachtelijke bereidingswijze van zwavelzuur uit ijzervitriool in zogeheten galei-ovens. Dit kleinschalige, tijdrovende proces was buitengewoon kostbaar en de vraag naar oleum was navenant gering. De ontdekking in 1869 van de synthetische bereiding van de rode meekrap-kleurstof alizarine bracht daar verandering in. Er kwam zoveel vraag naar het rokende zuur dat de prijs van f 35,- per 100 kg in 1873 naar f 56,- in 1875 steeg.<sup>48</sup>

Bij een dergelijk prijsniveau was het lonend naar alternatieven te zoeken. Dit gebeurde dan ook, waardoor de oleumprijs weer daalde tot f 41,- per 100 kg in 1878. Een van deze alternatieven was

het zogeheten 'contactproces', dat in 1875 op basis van theoretische overwegingen en uitgevoerde experimenten door de scheikundige Clemens Winkler (1838-1904) in Duitsland werd ontwikkeld. Winkler publiceerde in dat jaar zijn voorstel om geconcentreerd zwavelzuur van 93-97% eerst te splitsen in een evenredig gasmengsel van zwaveldioxide ( $SO_2$ ) en zuurstof ( $O_2$ ) en beide componenten vervolgens te leiden over roodgloeiend fijnverdeeld platina op een asbestdrager zodat zij met elkaar tot zwaveltrioxide ( $SO_3$ ) reageerden. Dit zwaveltrioxide kon vervolgens in wisselende verhoudingen in water worden opgelost, waardoor zwavelzuur van willekeurige sterkte gemaakt kon worden (twee moleculen zwaveltrioxide op één molecuul water geeft bijvoorbeeld oleum). Het was een elegant proces, want het verving de gasvormige katalysator van het lodenkamerproces (stikstofoxiden), waarvan steeds kleine hoeveelheden in de atmosfeer verdwenen, door een vaste katalysator (platina) die in theorie 'eeuwig' gebruikt kon worden. Bovendien kon dit proces in apparatuur van kleine afmetingen worden uitgevoerd. Nadelen waren er echter ook, met als meest opvallende dat eerst op de oude wijze geconcentreerd zwavelzuur geproduceerd moest worden voordat oleum kon worden gemaakt.<sup>49</sup> De uitwerking van een werkbaar technisch procédé kostte bijna vijftien jaar. Vier Duitse en Engelse bedrijven hadden hierin een aandeel. Uiteindelijk was het vooral de Duitse chemicus Rudolf Knietsch (1854-1906) die erin slaagde bij de Badische Anilin- und Soda-Fabrik (BASF) een proces in vier stappen te ontwikkelen waarmee oleum economisch kon worden geproduceerd. In 1894 kwam de BASF met dit contactzuur op de markt.<sup>50</sup> De eerste stap volgens het procédé van Knietsch was de productie van zwaveldioxide uit pyriet in de gebruikelijke roostovens waarmee ook de lodenkamerfabrieken werkten. Het aldus omzeilen van de route

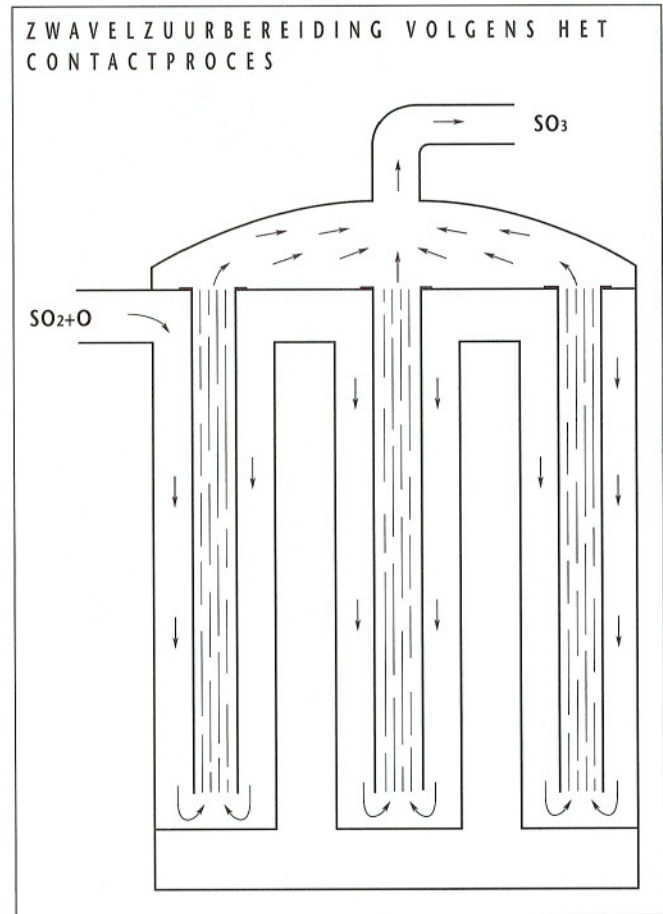


via de splitsing van geconcentreerd zwavelzuur was een cruciale innovatie om het proces rendabel te maken. Door voort te bouwen op bestaande technologie, kon dit deel van het proces van meet af aan op grote schaal in praktijk worden gebracht. Vervolgens ging dit gas, gemengd met de overtollige verbrandingslucht, door een gaszuiveringsapparaat waar de roostgassen zeer grondig van alle verontreinigingen werden gezuiverd. Zulke verontreinigingen zouden de katalysator als het ware 'vergiftigen', een term die sindsdien in het vakgebied van de katalyse heeft gehandhaafd. Wanneer de zuivering achterwege bleef, moest men de dure platinakatalysator voortdurend vervangen, wat nadelig was voor de winstgevendheid van het proces. Na de zuiveringseenheden volgde de eigenlijke contactoven, waarin het gasmengsel door een bundel met katalysator gevulde dunne buizen werd geleid. Hier deed de 'contactwerking' van de platinakatalysator bij ongeveer 410°C haar werk door het zwaveldioxide met de nog aanwezige luchtzuurstof in zwaveltrioxide om te zetten. De vierde stap, ten slotte, was de opname van het gevormde  $\text{SO}_3$ -gas in een vloeistof. Dit gebeurde in het zogeheten absorptieapparaat. Knietsch ontdekte dat niet water maar geconcentreerd zwavelzuur het meest geschikte oplosmiddel voor zwaveltrioxide was. Een contactzwavelzuurfabriek moest zodoende bij de start een partij geconcentreerd zwavelzuur van elders inkopen, maar was vanaf dat moment *self-supporting*.

Afgezien van enkele andere verbeteringen die Knietsch invoerde, zoals het voorverwarmen van de roostgassen door de warmte van de reactie in de contacteenheid, waren dit de hoofdlijnen van het contactproces zoals het op industriële schaal werd ingevoerd.

### Grote gevolgen

De technische betekenis van het contactproces overschreed verre de grenzen van de zwavelzuurtechniek. Het proces was het eerste katalytische proces op industriële schaal waarbij men bewust en gecontroleerd van de zogenaamde 'heterogene' katalyse gebruik maakte, dat wil zeggen van een katalytisch proces waarbij de katalysator zich in een andere fase bevindt dan de reactanten en producten (bijvoorbeeld, zoals hier, een vaste katalysator, met gasvormige reactanten en producten). Verschillende fenomenen die zich bij zulke reacties voordoen, waaronder het fenomeen van de 'vergiftiging' van de katalysator, die gedurende de twintigste eeuw van veel belang zouden blijken te zijn, werden voor het eerst indringend bestudeerd in samenhang met het contactproces van Winkler en Knietsch. Bovendien bleek de theorievorming die binnen de fysische chemie met betrekking tot chemische evenwichten in gasreacties werd ontwikkeld, van groot belang voor het begrijpen en optimaliseren van het contactproces. Door deze gebleken relevantie begonnen sommige bedrijven meer aandacht aan de fysische chemie te besteden. Zij haalden daarmee kennis in huis die later van belang zou blijken te zijn voor de ontwikkeling van bijvoor-

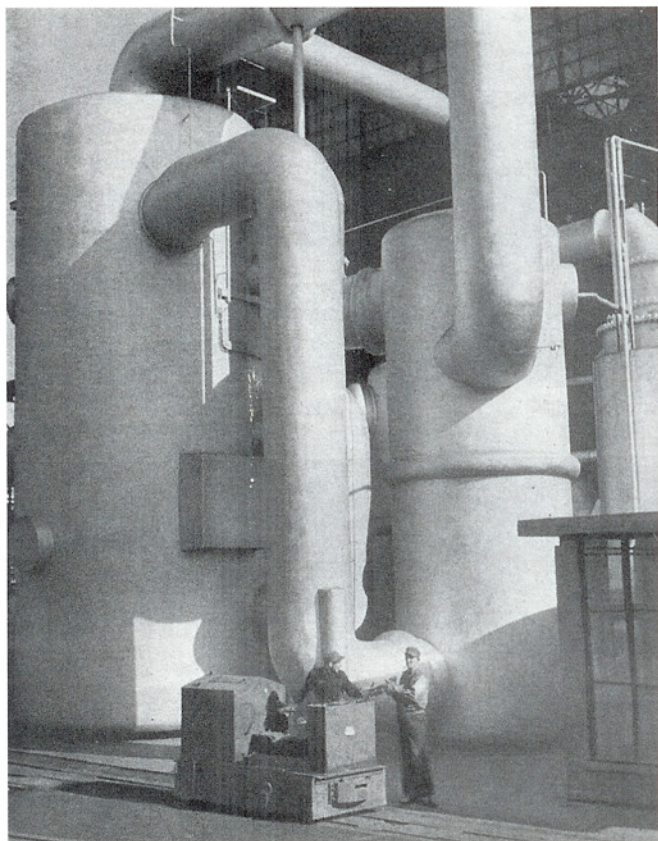


Een schematische voorstelling van een convertor van een contactzwavelzuurfabriek. Gasvormig, opgewarmd en goed gezuiverd zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ) stroomt met zuurstof (O) door met een katalysator gevulde buisreactoren (gearceerde

gedeelte) en wordt daar omgezet in zwaveltrioxide ( $\text{SO}_3$ ). Als katalysator fungeert platina of vanadium, op een drager van asbest of silica.

beeld de ammoniaksynthese volgens het Haber-Bosch-proces en voor andere katalytische reacties in de gasfase. Er ontstond zo een nieuw technologisch regime dat gedurende de rest van de twintigste eeuw een grote invloed op de chemische industrie zou hebben (hoofdstuk vijf).<sup>21</sup>

Ook binnen de zwavelzuurtechniek zelf had het contactproces een werking die de grenzen van zijn eigen terrein overschreed. Vanaf het moment dat in 1894 het eerste contactzuur op de markt verscheen, ontstond een scherpe technische concurrentie tussen het contactproces en het lodenkamerproces, die ook het laatste proces sterk beïnvloedde. Hoewel na 1898 enige tijd werd gevreesd voor het bestaansrecht van het kamerproces, wisten de kamerzuurfabrikanten door technische innovatie en kostprijsverlaging hun positie op de markt voor 50 en 60°Bé zuur te behouden. Men slaagde erin om zuur van die sterktes goedkoper te produceren dan de leveranciers van contactzwavelzuur. Voor de hogere concentraties lagen de verhoudingen echter andersom. Daardoor veroverden de contactzwavelzuurfabrieken niet alleen de oleummarkt, waar zij heer



*De vlak na de Tweede Wereldoorlog gebouwde contactzwavelzuurfabriek van Ketjen in Amsterdam-Noord, met links de convertor waarin  $\text{SO}_2$  in  $\text{SO}_3$  wordt omgezet, en rechts de warmtewisselaar waarin de warmte van hete reactieproducten wordt gebruikt om de binnenkomende gasstroom ( $\text{SO}_2$  en zuurstof) op te warmen. Voor de productie van zwaveldioxide werden bij Ketjen de pyrietovens van de op de achtergrond*

*zichtbare lodenkamerfabriek gebruikt. In tegenstelling tot de van 1901 tot 1903 gebouwde contactzuurfabriek stond deze installatie in de open lucht opgesteld. Na de Tweede Wereldoorlog werd het, door de introductie van meet- en regeltechnieken die bediening op afstand mogelijk maakten, steeds gebruikelijker om de apparatuur buiten op te stellen.*

en meester waren, maar ook grote delen van de markten voor 66°Bé zuur en die voor zuur van 97%. Zo ontstond er een situatie waarin het lodenkamerproces en het contactproces naast elkaar bleven bestaan, elk opererend op hun eigen deelmarkten. Pas omstreeks de Tweede Wereldoorlog zou hierin verandering komen.<sup>52</sup>

### **Nederland**

De eerste Nederlandse zwavelzuurfabrikant die het contactproces invoerde, was de Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding. Als enige Nederlandse producent van geconcentreerd zwavelzuur moest het zeer beducht zijn voor de opkomst van het nieuwe proces, temeer daar juist sterk zwavelzuur over grotere afstanden werd vervoerd, zodat daar de internationale concurrentie sterker was. De Maatschappij bemerkte de concurrentie van BASF al spoedig aan den lijve omdat de Belgische vaselinefabrieken waaraan het Amsterdamse bedrijf leverde er omstreeks 1897 toe overgingen

oleum te gebruiken voor de raffinage. Het door de familie Ketjen geleide bedrijf wilde niet achterblijven en richtte reeds kort daarna op zijn fabrieksterrein te Nieuwer-Amstel een proefinstallatie voor het contactproces op. Het feit dat Nederland toen geen octrooiwet kende, waardoor geen dure licentiegelden aan de Duitse fabrikanten betaald hoefden te worden, speelde daarbij ongetwijfeld een rol.<sup>53</sup> Ketjen huurde de Duitse chemicus Carl Daub in, die beweerde bij de BASF te hebben gewerkt, om de proeffabriek op gang te helpen. Hij bleek het proces echter niet goed meester te zijn, met vele storingen als gevolg. Gedurende de twee jaar dat hij in dienst was, hadden de omwonende tuinders zeer te lijden onder de kwalijke dampen die op gezette tijden ontsnapten. Pas nadat in mei 1899 de Belgische ingenieur en voormalige zwavelzuurfabrikant Paul Janssen aan het bedrijf werd verbonden, lukte het om het contactproces onder de knie te krijgen. De proefinstallatie had nu zijn werk gedaan. In 1900 ontwierpen Janssen en zijn mededirecteuren een contactfabriek, die gebouwd werd op een nieuw terrein in Amsterdam-Noord. Omstreeks 1902 kwam de fabriek in bedrijf.<sup>54</sup> Het Amsterdamse bedrijf was waarschijnlijk een van de eerste niet-Duitse bedrijven die het contactproces invoerden. Meer nog dan het lodenkamerproces vereiste de productie van contactzuur, een regeltechnisch minstens zo complex proces, goed geschoolde, ervaren arbeiders. Zo moest de contactoven zo constant mogelijk op 400 tot 420°C worden gehouden, iets wat in die tijd geen sinecure was. In de absorptieafdeling moest het proces zo worden geregeld dat zwavelzuur van zeer welomschreven sterkte werd afgeleverd. Dit vergde onder andere het voortdurend verrichten van metingen van de zuurconcentratie. Met enige overdrijving beweerde men dan ook wel eens dat de arbeiders van een contactzwavelzuurfabriek eigenlijk chemici moesten zijn.<sup>55</sup> Ketjen had tevens last van aanloopmoeilijkheden op de markt. Aan oleum bleek in Nederland door het ontbreken van een synthetische-kleurstoffenindustrie geen behoefte te bestaan. Behalve aan de Belgische vaselinefabrieken lukte het oleum te leveren aan de Nederlandsch-Indische paraffinefabrieken van de Dordtsche Petroleum Maatschappij en de 'Koninklijke'. Reeds vanaf het begin van de jaren negentig leverde Ketjen geconcentreerd zwavelzuur ten behoeve van de petroleumraffinage, dat aanvankelijk met zeer grote moeilijkheden naar Indië werd verscheept. Daar kwam nu oleum bij. Desondanks bleef de vraag naar oleum te gering, zodat Ketjen ertoe overging het geproduceerde contactzuur tot 66°Bé zuur te verdunnen. Deze markt kende Ketjen door en door, en aangezien licht verdund contactzuur goedkoper was dan geconcentreerd kamerzuur, had deze werkwijze economische voordelen.<sup>56</sup> Voor de lagere zuurconcentraties handhaafde het bedrijf tot de Tweede Wereldoorlog een lodenkamerfabriek. De reeds genoemde 'Koninklijke' Nederlandsche Petroleum Maatschappij was het tweede Nederlandse bedrijf dat serieus overwoog het contactproces in te voeren. Besprekingen met BASF over een

licentie voor Indië mislukten echter en de Koninklijke besloot daarop op safe te spelen en een lodenkamerfabriek te Balik Papan op Borneo te bouwen.<sup>57</sup>

De tweede Nederlandse contactzuurfabriek kwam pas in 1920 in Sas van Gent in bedrijf. Eigenaar was de in 1904 opgerichte 'Nieuwe Nederlandsche Maatschappij tot Vervaardigen van Spiegelglas, Glazen Voorwerpen en Chemische Producten' (die laatste toevoeging sinds 1912). Als 100% dochter van het St. Gobain-concern, de grootste Franse producent van glas, zwavelzuur en superfosfaat, had het bedrijf toegang tot de modernste technologie op dat gebied. Toen St. Gobain dan ook in 1912 besloot een superfosfaat- en een zwavelzuurfabriek aan haar glasfabriek in Sas van Gent toe te voegen, koos men ervoor zwavelzuur volgens zowel het lodenkamer- als het contactprocédé te bereiden. Door de problemen die de Eerste Wereldoorlog opwierp, kwam de fabriek echter pas in 1920 in bedrijf.<sup>58</sup>

Tot 1939 waren de fabrieken in Amsterdam en Sas van Gent de enige contactzwavelzuurfabrieken in het land. Het feit dat de enorme capaciteitsuitbreidingen rond 1930 geheel door lodenkamerfabrieken werden gerealiseerd, bewijst dat voor zuur van een lagere concentratie dat procédé toen nog de voorkeur had. Toen Staatsmijnen in 1937 besloot een derde Nederlandse contactzwavelzuurfabriek te bouwen, die twee jaar later gereed kwam, hield dit direct verband met het feit dat het bedrijf hooggeconcentreerd zwavelzuur nodig had omdat het zich op het gebied van de organisch-chemische industrie ging begeven. Men had de fabriek nodig voor de synthetische bereiding van alcohol, voor de raffinage van benzeen en voor de bereiding van nitreerzuur om kleurstoffen en explosieven te gaan maken.<sup>59</sup>

Pas toen na de Tweede Wereldoorlog de contactzuurtechnologie van het Amerikaanse Monsanto-concern beschikbaar kwam, deels mogelijk gemaakt door de Marshallhulp, werd het mogelijk om ook het lager geconcentreerde zuur via het contactproces te maken tegen een kostprijs die onder die van het lodenkamerproces lag. Na de oorlog werden geen nieuwe lodenkamerfabrieken meer gebouwd en schakelde de ene na de andere superfosfaatproducent over op het contactprocédé. Qua capaciteit waren contactzwavelzuurfabrieken tot het begin van de jaren vijftig meestal kleiner dan lodenkamerfabrieken. Pas daarna ging de capaciteit met sprongen omhoog, waarbij een verdrievoudiging optrad per tienjaarlijkse periode. In 1947 hoorde 100 ton/dag tot de mogelijkheden (circa 33.000 ton/jaar), in 1957 was dit 300 ton/dag en tussen 1965 en 1970 werden er zelfs fabrieken met een capaciteit van 800 tot 900 ton/dag gebouwd. De capaciteit van de vooroorlogse lodenkamerfabrieken werd toen ruimschoots overschreden. Bovendien ging het nu om 100% geconcentreerd zwavelzuur en werd deze capaciteit in één geïntegreerde productie-eenheid gerealiseerd (een zogeheten *single train*-installatie – zie hoofdstuk 7).<sup>60</sup>

## De opkomst van het ingenieursbureau

De geschiedenis van de procestechnologie in de superfosfaat- en zwavelzuurindustrie is niet compleet zonder de beschrijving van een fenomeen dat zich met name in deze industrietak al vroeg ontwikkelde: het ingenieursbureau (toen ook wel 'technisch bureau' genoemd). Bureaus die zich met superfosfaat en zwavelzuur bezighielden, behoorden tot de oudste van Europa. Het waren de ideale partners voor nieuwkomers in de branche, die vooral in de minder ontwikkelde Nederlandse chemische industrie nogal eens voorkwamen. Sinds het laatste kwart van de negentiende eeuw konden zij van de diensten van zulke bureaus gebruikmaken. De bureaus vormden een voortzetting en uitbreiding van het in Engeland reeds langer bestaande verschijnsel van de 'consulting chemists'; Ludwig Mond, die de pyrietovens en een sodafabriek bij Smits in Utrecht installeerde, was hier een voorbeeld van. Ze konden bedrijven op vele fronten van advies dienen, ontwierpen vaak complete fabrieken en bezaten niet zelden octrooien op cruciale technische onderdelen van een proces. Aan een klant leverden ze dan ook meestal, naast het ontwerp en de bouwtekeningen van de complete fabriek, enkele zeer speciale, succesvolle onderdelen van het ontwerp. De rest van de materialen en apparaten kocht de klant dan zelf in, terwijl hij ook de aannemers inhuurde. Wel was de montage van de cruciale onderdelen vaak in handen van de ingenieurs van het technisch bureau, terwijl zij soms ook assistentie boden bij het opstarten van de fabriek.<sup>61</sup> Nederlandse chemische fabrieken waren voor technisch advies en vooral voor gespecialiseerde instrumenten, apparaten en installaties vaak aangewezen op buitenlandse bureaus. Op het gebied van de superfosfaat- en zwavelzuurindustrie was er slechts één nationale uitzondering: het ingenieursbureau dat F.W. Bakema achtereenvolgens in Zwijndrecht, Hilversum en Amsterdam bezat. Tussen de periodes dat hij als technisch directeur werkzaam was, vulde hij zijn tijd met technische advisering en het ontwerpen van fabrieken. Ook tijdens zijn aanstelling als directeur kon zijn technisch gerichte ondernemersgeest het niet laten plannen voor de oprichting en bouw van fabrieken te maken. Zo benaderde hij in september 1904 de Koninklijke met het plan om gezamenlijk kunstmest- en zwavelzuurfabrieken in Nederlandsch-Indië te stichten. De Haagse petroleummaatschappij hield de boot echter af. Bakema ontwikkelde de bouwplannen voor verscheidene Nederlandse superfosfaatfabrieken, maar ontwierp ook kunstmestfabrieken in Duitsland en Noorwegen. Hij trad tevens op als leverancier van apparatuur. Na van 1920 tot 1928 directeur van de Eerste Nederlandsche Coöperatieve Kunstmestfabriek te Vlaardingingen te zijn geweest, staaakte hij voor zover bekend zijn activiteiten als fabrieksontwerper.<sup>62</sup> Welke rol ingenieursbureaus speelden bij de introductie van nieuwe procestechnologie, kan worden geïllustreerd met enkele voor-

beelden uit de geschiedenis van de Koninklijke. Toen dit bedrijf aan het begin van de eeuw overwoog in Indië een paraffinefabriek en een zwavelzuurfabriek neer te zetten, was het een van de snelst groeiende olieproducenten, maar zonder een eigen technisch bureau. Voor de zwavelzuurfabriek ging men daarom bij het Duits-Franse ingenieursbureau Hartmann & Benker te rade en voor de paraffinefabriek bij het gerenommeerde Weense 'Technische Bureau' van Albrecht von Gröling. De zwavelzuurfabriek werd voorlopig niet gebouwd. Von Gröling daarentegen kreeg in juni 1903 de opdracht een paraffinefabriek neer te zetten bij de raffinaderij te Pangkalan Brandan op Sumatra. Het Weense bureau leverde het technisch ontwerp en enige installaties en zond twee monteurs naar de Oost om te helpen bij het installeren en opstarten van de fabriek. Het liep op een drama uit. Het technisch ontwerp was volledig ongeschikt voor toepassing in de tropen. De temperatuur in het koelrhuis, die 8°C had moeten wezen, kon niet onder de 15°C worden gebracht, omdat de rivier die het koelwater moest leveren veel te warm was. De paraffine stelde vrijwel niet en technici van de Koninklijke waren maanden in de weer om de fabriek alsnog aan de praat te krijgen.<sup>65</sup>

Dit debacle vormde voor de Koninklijke de directe aanleiding voor de oprichting van een eigen technisch bureau. Toen een tweede paraffinefabriek, nu te Balik Papan op Borneo, ontworpen moest worden, trok men de ervaren Delftse technoloog D. Pijzel (1877-1972) aan; tevens werd de werktuigkundige A.M. Coenen (1869-1935) aan de staf van het Haagse hoofdkantoor toegevoegd. In maart 1907 schreef directeur H. Loudon aan zijn Shell-collega R. Waley Cohen dat zijn Haagse kantoor nu was toegerust om plannen voor fabrieken uit te werken. De staf werd verder uitgebreid en een jaar later was er voor het eerst sprake van een afzonderlijk Technisch Bureau. Onder leiding van Coenen groeide de afdeling uit tot een groot intern ingenieursbureau waar tientallen technici, tekenaars en inkopers van apparatuur werkzaam waren. Voor de Nederlandse industrie had dit grote voordelen, want vele bestellingen werden bij de vaderlandse machine-industrie geplaatst.<sup>64</sup> Hoewel de Koninklijke zich zo op het gebied van haar *core businesses* – winning, raffinage en transport – onafhankelijk maakte van externe technische bureaus, was dit zeker niet het geval als het erom ging zich op nieuwe terreinen te begeven. Toen men dan ook in 1908 voor de zoveelste maal de oprichting van een zwavelzuurfabriek overwoog, wendde het bedrijf zich wederom tot Hartmann & Benker; ditmaal met het verzoek om een lodenkamerfabriek met een capaciteit van 16.000 ton/jaar te ontwerpen – meer dan dertig keer zo groot als de fabriek die dit bureau zes jaar eerder voor de Koninklijke had ontworpen. Hieruit spreekt niet alleen de enorme groei die de Koninklijke in die zes jaar doormaakte, maar vooral ook het inmiddels tot vaste overtuiging geworden idee dat men alleen zelf moest gaan produceren als men dit kon doen volgens de laatste stand der techniek en tegen de laagst mogelijke

kostprijs. Nu viel er wél een positieve beslissing. De fabriek werd in Balik Papan gebouwd en kwam eind 1910 gereed. Naast de levering van het procesontwerp boden Hartmann & Benker in hun offerte hulp aan bij gespecialiseerd loodbranderswerk en bij de installatie van cruciale onderdelen en zorgden zij voor een lijst met leveranciers van apparatuur. De bestellingen voerde het Technisch Bureau van de Koninklijke/Shell zelf uit, maar bij het opstarten van de fabriek leverden Hartmann & Benker weer assistentie. De fabriek, een van de eerste in de tropen, werkte tot 1931 naar alle tevredenheid.<sup>66</sup>

De sinds ongeveer 1880 bestaande firma Hartmann & Benker was op het terrein van de zwavelzuur- en superfosfaatindustrie een van de bekendste bureaus van Europa. In 1909 afficheerde het bedrijf, met kantoren in Wiesbaden en in Clichy bij Parijs, zich als 'Internationale technische Bureaus für die chemische Industrie'. Het beschikte in Clichy over een eigen laboratorium en een proeflabriek. Hartmann & Benker leverden complete fabrieksontwerpen en fabrieksinstallaties, waarbij hun specialiteiten onder andere een zuurbestendig vulmateriaal, ventilatoren voor loden kamers en concentratie-installaties voor zwavelzuur waren. Volgens een advertentie uit 1909 had deze naar eigen zeggen 'oudste zaak binnen deze branche' tot dan toe ongeveer 800 fabrieken ontworpen en geïnstalleerd en trad ze op als raadgevend ingenieur van talloze fabrikanten uit alle industrielanden. Dit cijfer laat zien welk een omvang het fenomeen ingenieursbureau toen reeds had. Kort daarna besloten F. Benker en E. Hartmann ieder hun eigen weg te gaan. Benker zette zijn zaak in Clichy voort onder de firma Benker & Millberg, terwijl het Wiesbadense bureau van Hartmann na een korte zelfstandige periode in 1912 werd overgenomen door de Metallbank und Metallurgische Gesellschaft A.G. uit Frankfurt a/M, een bedrijf dat alom bekend zou worden onder het telegramadres 'Lurgi'.<sup>66</sup>

Lurgi was in 1897 voortgekomen uit de technische afdeling van de Metallgesellschaft, een groot Duits concern op het gebied van de non-ferrometallurgie dat ook bij de zinkfabriek in Budel en de zinkwitfabriek in Maastricht betrokken was. Het verwierf de rechten op de bekende Herreshoff-etageoven voor het roosten van pyriet (die nu Lurgi-oven ging heten) en op het veelgebruikte Cottrell-apparaat voor de zuivering van roostgassen. Met de overname van Hartmann in 1912 haalde Lurgi een succesvol ingenieursbureau in huis dat in hoge mate complementair was aan zijn eigen activiteiten. Het stelde Lurgi in staat complete zwavelzuurfabrieken te leveren. Ook bedrijven die zelf zwavelzuurfabrieken ontwierpen, zoals Ketjen en de ASF/VCF, konden met betrekking tot cruciale onderdelen moeilijk om Lurgi heen. Vrijwel elke Nederlandse zwavelzuurfabriek had voor de Tweede Wereldoorlog haar Lurgi-etageovens en, waar nodig, het doorgaans van Lurgi afkomstige Cottrell-apparaat. Een ander Duits bureau dat in Nederland actief was, was 'Lütjens & Ludewig. Ingenieurbüro für

Fabrikanlagen' uit Hannover. Dit bedrijf ontwierp vlak voor de Eerste Wereldoorlog de nieuwe fabriek van Coenen & Schoenmakers te Veghel en was van 1923 tot 1925 betrokken bij de bouw van de zwavelzuurfabriek van Bakema's ENCK in Vlaardingen.<sup>67</sup> Om hun positie op de markt te behouden, moesten bedrijven als Lurgi en Lütjens & Ludewig zich voortdurend inspannen om hun ontwerpen en apparatuur te verbeteren. Het is deze aan handel op een technologische markt gekoppelde innovatieve activiteit die begrijpelijk maakt waarom processen van schaalvergroting vaak over de gehele linie plaatsvonden. Wanneer een zwavelzuurfabriek bijvoorbeeld een nieuwe pyrietoven met een grotere capaciteit aanschafte, stonden de concurrenten vaak niet lang daarna ook bij de leverancier van die installatie op de stoep. Hoewel het zeker onjuist zou zijn te menen dat ingenieursbureaus als Lurgi in de twintigste eeuw een exclusieve voorttrekkersrol vervulden op het gebied van de technische ontwikkeling in de procesindustrie – zoals bijvoorbeeld blijkt uit de rol die chemische producenten als BASF en Monsanto op het gebied van het contactproces speelden – is het wel zo dat zij een steeds groter aandeel kregen in de diffusie van technische kennis. Als ontwerpers van fabrieken kwamen ze bij veel bedrijven over de vloer en hadden zo als geen ander een overzicht over de laatste stand van de techniek. Een bedrijf als Lurgi hanteerde bovendien de strategie om via aandelenbezit en commissariaten bij talloze metallurgische en chemische bedrijven betrokken te raken. Dit gaf Lurgi enerzijds een voorkeurspositie als deze bedrijven nieuwe installaties wilden aanschaffen of een fabriek wilden laten ontwerpen, en het zorgde er anderzijds voor dat het bedrijf op de hoogte raakte van de eisen van de fabriekspraktijk en van innovaties die binnen die bedrijven waren ontwikkeld. Ingenieursbureaus in andere sectoren van de procesindustrie volgden een vergelijkbare strategie.<sup>68</sup> Soms leidde de samenwerking tussen technische bureaus en productiebedrijven ertoe dat de laatste de licentierechten op nieuwe vindingen aan die bureaus overdroegen, omdat dit een grotere verbreiding van de innovatie en dus een grotere inkomstenbron uit deze rechten garandeerde. De voorbeelden van de Herreshoff-oven en het Cottrell-apparaat vallen in deze categorie. Ook het feit dat Monsanto in 1926 de rechten op het door haar ontwikkelde contactproces aan de Britse bouwer van cokes- en zwavelzuurfabrieken Simon Carves overdroeg, zal vermoedelijk hebben bijgedragen tot de introductie van dit proces in talloze zwavelzuurfabrieken. Juist doordat ingenieursbureaus als Lurgi en Simon Carves op verschillende plaatsen in Europa dezelfde installaties neerzetten, hadden ze, zelfs als ze niet met een productiebedrijf verbonden waren, grote voordelen boven de modale chemische

fabrikant. Deze laatste deed immers hooguit ervaring op met één, of enkele, fabrieken, terwijl de ingenieursbureaus informatie kregen over het functioneren van tientallen fabrieken op hun terrein en over de onvolkomenheden die daarbij opdoken. Hun ontwikkelingswerk om zulke problemen uit de wereld te helpen was hun grote kracht. 'As they worked for many clients', vertelt Ralph Landau, die zelf jaren in deze branche heeft gewerkt, 'they accumulated useful information related to the operation of plants under a variety of conditions.'<sup>69</sup>

Na de Tweede Wereldoorlog zou de rol van deze ingenieursbureaus bij de diffusie van technische innovaties verder toenemen. Terwijl zij zich vóór die tijd veelal beperkten tot het leveren van de bouwtekeningen en van enkele cruciale installaties en apparaten, kwam vlak voor de oorlog in de Verenigde Staten een nieuw type onderneming van de grond: de *engineering contractor*. Deze combineerde de functies van aannemer en ingenieursbureau met elkaar. Na de oorlog vestigden deze bedrijven, zoals Lummus, Bechtel, Badger, Stone & Webster, Foster Wheeler en Fluor, zich ook in Europa, terwijl Europese bureaus als Lurgi, Simon Carves, Uhde, Coppée (hoofdstuk 5) en het in 1924 opgerichte Nederlandse bureau Comprimo hun voorbeeld overnamen. Dit soort bedrijven was in staat waar ook ter wereld complete raffinaderijen of chemische fabrieken neer te zetten; ze droegen daarmee in een grote mate bij aan een dynamiek waarin ieder chemisch bedrijf zijn fabriek, in geval van uitbreiding, kon inrichten volgens de laatste stand van de techniek. Het licentie- en ingenieursbureau van Staatsmijnen, Stamicarbon, speelde een vergelijkbare rol bij de wereldwijde verbreiding van de ureumtechnologie van dat bedrijf, zonder overigens als aannemer op te treden.

Onder invloed van de toenemende rol van de *engineering contractors* werd de vooroorlogse situatie waarin iedere producent op zijn eigen manier produceerde, vervangen door de wereldwijde toepassing van slechts enkele succesvolle dominante technische ontwerpen. Deze vooral op het terrein van de petrochemie optredende ontwikkeling werd sterk bevorderd door de toen optredende enorme groei van de markt, waardoor er een voortdurende schaalvergroting plaatsvond die gepaard ging met stijgende kapitaallasten en toenemende financiële risico's. Het inkopen van een kant en klaar succesvol ontwerp was één van de mogelijkheden om deze risico's binnen de perken te houden.<sup>70</sup> De antecedenten van dit proces liggen echter, zoals hierboven is betoogd, reeds bij de oprichting van de eerste procestechnologische ingenieursbureaus in de laatste decennia van de negentiende eeuw.

*Ernst Homburg en Henk van Zon*

**Chemie/hoofdstuk 2****Grootchalig produceren: superfosfaat en zwavelzuur, 1890-1940****Archieven**

- Akzo Nobel Chemie, Bibliotheek, historische collectie Ketjen, Amsterdam-Noord.
- Algemeen Rijksarchief (ARA), 's-Gravenhage, Archief afdeling Volksgezondheid (1902) 1918-1950 (1976).
- Centraal Archief DSM, Heerlen.
- Archief Shell, Den Haag.
- BASF-archief, Ludwigshafen (Duitsland).
- Gemeentearchief Vlaardingen (GA Vlaardingen), Archief ENCK.
- Vereniging van de Chemische Industrie (VNCI), Archief, Leidschendam.

**Noten**

- 1 H. Woltreck, *Die Entwicklung der chemischen Industrie Hollands in den Jahren 1914 bis 1925* (proefschrift Leipzig 1927) 35-36; [E. Bloembergen], *Vijf en zeventig jaar superfosfaat* (Utrecht 1953) 106-108; P. Weicksel, *Superphosphat auf dem Weltmarkt* (Berlijn 1929) 33-38.
- 2 Voor de opkomst van het kunstmestgebruik in Nederland, zie H.A.M. Snelders, 'Landbouw en scheikunde in Nederland in de vóór-Wageningse periode (1800-1876)', *A.A.G. Bijdragen* 24 (1984) 59-104; J.L. van Zanden, 'Mest en ploeg' in H.W. Lintsen e.a. eds., *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890* (Zutphen 1992) dl. 1, 55-62; P.R. Priester, *Geschiedenis van de Zeeuwse landbouw circa 1600-1900* (Wageningen 1998) 403-409; M. Knibbe, *Agriculture in the Netherlands 1851-1950: production and institutional change* (Amsterdam 1993) 93-102, 129, 134, 154-156, 230, 236, 247, 281, 286.
- 3 A.N. Gray, *Phosphates and superphosphates* (Londen 1930) 12-25, 50-61; L.F. Haber, *The chemical industry 1900-1930: International growth and technological change* (Oxford 1971) 104; J.C.A. van Everwijn ed., *Beschrijving van handel en nijverheid in Nederland* ('s-Gravenhage 1912) dl. 2, 564-573; *De fabrieken en werkplaatsen vallende onder Veiligheidswet. Samengesteld uit het Centrale Kaartregister der Arbeidsinspectie in 1912* ('s-Gravenhage 1912) 55-57.
- 4 P. Huf, *Zeventig jaar Coenen & Schoenmakers, Veghel, 1882 - 28 juli - 1952* (z.p. 1952) 22-33; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 32, 50-69; Van Nierop & Baak, *Naamlouze Vennootschappen, 1895-1918*; [V. R.], 'Internationale Guano- en Superphosphaatwerken te Zwijndrecht', *Eigen Haard* 28 (1902) 613-616, 629-632; Ernst Schwenk, *125 Jahre Albert Chemie in Biebrich am Rhein. Bilder und Fakten zur Firmengeschichte* (Wiesbaden 1983).
- 5 Van Nierop & Baak, *Naamlouze Vennootschappen, 1899*; Huf, *Zeventig jaar*, 98-99; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 36-37; *Chemisch Weekblad* (verder CW) 49 (1953) 595; *Scheikundig Jaarboekje* (later *Chemische Jaarboekje*, beide verder SJ) 1901/2, 193, 196, 1904/5, 259, 262, 1915/6, 327; *Jaarverslag van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid over het jaar 1907*, 552-553; R. Mückenberger, *Handbuch der chemischen Industrie* (Berlijn 1909) 4e druk, 216, 222-223.
- 6 Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 69-77; D. de Wit, *Windmill, wieden naar de wind gekeerd. Van boerencoöperatie naar internationale organisatie* (Vlaardingen 1990) 22-30. Over de onbekende fabriek in Terneuzen, zie Van Nierop & Baak, *Naamlouze Vennootschappen 1908-1934; A general view of trade and industry in the Netherlands. Number XII: Chemical and starchy products* (Den Haag z.j. [1913]) 15; P. Doyer, *A general view of the Netherlands. Number V: Industry, part III* (Den Haag z.j. [1915]) 19.
- 7 *De fabrieken en werkplaatsen*, 55.
- 8 S.J. van Roijen (bew.), *Alfred Sibson's kunstmeststoffen* (Groningen 1878), 8. Zie voorts [M.H. Salomonson], *Peruanischer Guano. Mittheilung von M.H. Salomonson, Fabrikant des rohgemahlenen und aufgeschlossenen Peru-Guano in Rotterdam und Düsseldorf* (Düsseldorf 1885); [G.J. Krol & Co.], *Inlichtingen omtrent kunstmest* (Zwolle 1894).
- 9 J.W. Schot en E. Homburg, 'Meekrap en garancine' in Lintsen e.a. eds., *Geschiedenis van de techniek in Nederland* (Zutphen 1993) dl. 4, 222-239; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 41-47, 57, 156-157; *Capelle aan den IJssel. De geschiedenis* (Capelle a/d IJssel 1991) 117-119; ledenlijsten *Deutsche Chemische Gesellschaft 1877* en 1878.
- 10 Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 39-49, 59; *Nederlandsche Staatscourant* 1877, nr. 111, en bijvoegsel *Nederlandsche Staatscourant*, 11-12 november 1877; *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie. Fa. G.T. Ketjen & Co., Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding. 1835 - 1 april 1935* (z.p. 1935) 9-11; CW 49 (1953) 594; 'Terugblik bij een afscheid', *Ketjen Nieuws* 8 (3 sept. 1971); SJ 1904/5, 259. Vgl. R. Henneking, *Chemische Industrie und Umwelt. Konflikte um Umweltbelastung durch die chemische Industrie am Beispiel der schwerchemischen, Farben- und Düngemittelindustrie der Rheinprovinz (ca. 1800-1914)* (Stuttgart 1994) 374-376.
- 11 Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 33, 81; F.W. Bakema, 'De Nederlandsche superfosfaatindustrie', CW 25 (1928) 458.
- 12 Gemeentearchief (verder GA) Vlaardingen, Archief ENCK, inv.nrs. 99, 216, 264, 266, 273, 301, met dank aan dr. Rien Vermij; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 48-49, 69; *N.V. Amsterdamsche Superfosfaat-fabriek, Amsterdam-Pernis, 1907-1917* (z.p. 1917) 21; Haber, *The chemical industry*, 105; De Wit, *Windmill*, 26, 30, 155. Voor de groei van het Nederlandse kunstmestgebruik in de betreffende periode, zie: J.H. van Stuijvenberg, *Het Centraal Bureau een coöperatief krachtenveld in de Nederlandse landbouw 1899-1949* (Rotterdam 1949) 231-298; K.J.B. De Kleermaeker, 'Vijftig jaar meststoffenontwikkeling', CW 50 (1954) 565-570; G.L. Ragonet, *Studie over de ontwikkeling van het verbruik van kunstmeststoffen in West-Europa gedurende de eerste helft van de 20ste eeuw* (Wageningen z.j.).
- 13 Van Roijen (bew.), *Alfred Sibson's kunstmeststoffen*, 7, 32-35; [Krol], *Inlichtingen omtrent kunstmest*, 12-15; J.A. Vens, *Super op de plaat. Lotgevallen van mensen en machines op een kunstmestfabriek* (ongepubliceerd manuscript, Pernis 1986) 25, met dank aan de heer J.A. Vens te Rockanje; *Van superfosfaat tot mengmest. 75 jaar lokatie Pernis* (z.p. 1985) 21-22, 25-27; De Wit, *Windmill*, 58-61.
- 14 De beschrijving van het productieproces is gebaseerd op: Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 32, 45-47, 146-149; Vens, *Super op de plaat*, 9-10, 16-19; *Van superfosfaat tot mengmest*, 4-7; P.P. Dehérain, *Cours de chimie agricole* (Parijs 1873) 542-545; L. Seidler, 'Düngemittel, künstliche' in [F. Ullmann ed.], *Enzyklopädie der technischen Chemie* (Berlijn en Wenen 1929) 2e druk, dl. 4, 24-91, aldaar 27-50.
- 15 Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 147; Vens, *Super op de plaat*, 10.
- 16 *Jaarverslag van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid over 1913*, 274-276, 279; Henneking, *Chemische Industrie und Umwelt*, 138-210, 338-386.
- 17 *Centraal Verslag der Arbeidsinspectie over 1910*, 276-278, 279-280; *idem over 1912*, 391; *Jaarverslag van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid over 1911*, 347.
- 18 Algemeen Rijksarchief (verder ARA), 's-Gravenhage, Archief afdeling Volksgezondheid (1902) 1918-1950 (1976), inv.nr. 1648; M.J.N. Schuurmsma, 'Fluoorvergiftiging tengevolge van luchtverontreiniging door een superphosphaatfabriek', CW 38 (1941) 583-584; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 157-158; Vens, *Super op de plaat*, 74-82, 101; Huf, *Zeventig jaar*, 73, 75-76; De Wit, *Windmill*, 58-59, 132; M.I. Rigter, *Van CMRK tot DCMR. De vervuiling van Rijnmond te lijf* (ongepubliceerde doctoraalscriptie Economische en Sociale Geschiedenis, RU Utrecht 1993) 15.
- 19 Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 147, 157; *Centraal Verslag der Arbeidsinspectie over 1910*, 274-280; *Jaarverslag van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid over 1911*, 347; Vens, *Super op de plaat*, 6-19; Seidler, 'Düngemittel', 38; Haber, *The chemical industry*, 104.
- 20 *Amsterdamsche Superfosfaatfabriek; Van superfosfaat tot mengmest*, 5-12, 21-24; Vens, *Super op de plaat*, 5-50; Seidler, 'Düngemittel', 27-54, m.n. 38; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 147-148; De Wit, *Windmill*, 58-60.

- 21 F.H. Eijndman jr., *Leerboek der chemische technologie* (Amsterdam 1906) 53; H. Ost, *Lehrbuch der chemischen Technologie* (Leipzig 1919) 10e druk, 189; P.S. Pels, *Een economisch-statistisch onderzoek naar de chemische industrie in Nederland* (Haarlem 1944) 13-14, 71, 77-78; CW 48 (1952) 73-74, 323; E. Homburg, 'Zwavelzuur' in Lintsen e.a. eds., *Geschiedenis*, dl. 4, 181-203; Haber, *The chemical industry*, 105; VNCI-archief, Leidschendam: M.F. Schenk, *De Nederlandse chemische industrie* (ongepubliceerd manuscript, z.p., z.j. [1956]) 43-44. Vgl. E. Drösser, *Die technische Entwicklung der Schwefelsäurefabrikation und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung* (Leipzig 1908) 25-26.
- 22 Van Roijen (bew.), *Alfred Sibson's kunstmeststoffen*, 4-6; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 25-26, 48, 63, 68-69, 79, 84-85, 94; *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie*, 8.
- 23 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 39-43; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 33, 37-39, 62, 78, 81, 94; Huf, *Zeventig jaar*, 42, 45, 84-86, 99; De Wit, *Windmill*, 26; Pels, *Een economisch-statistisch onderzoek*, 77-79; CW 17 (1920) 501; Everwijn ed., *Beschrijving van handel en nijverheid*, 511; W. Blom, *100 jaar zinkproductie in Nederland* (Eindhoven 1992) 47, 58-59, 62, 96, 105-106.
- 24 Archief Shell, Den Haag, inv.nr. 8 (1890/1945), no. 1764, jaarverslag Ketjen 1921 voor het College van Commissarissen 14 april 1922, brief directie Ketjen aan Commissarissen 2 dec. 1924, idem 27 jan. 1925, jaarverslag Ketjen 1924 voor het College van Commissarissen 6 mrt. 1925; Akzo Nobel Chemie, Bibliotheek, historische collectie Ketjen, Amsterdam-Noord (verder Archief Ketjen), brief Van Wechem, dec. 1984; *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie*, 20; Bakema, 'De Nederlandsche superfosfaatindustrie'.
- 25 *Amsterdamsche Superfosfaatfabriek*, 17, 19, 31; Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 36, 49, 54, 57, 61-64, 74, 94; Huf, *Zeventig jaar*, 33, 42, 45, 84-86; De Wit, *Windmill*, 26, 80, 155; Vens, *Super op de plaat*, 26-33; SJ 1915/6, 324; CW 49 (1953) 595.
- 26 Bloembergen, *Vijf en zeventig jaar*, 49, 78-81; CW 25 (1928) 415; CW 48 (1952) 323; Schenk, *De Nederlandse chemische industrie*, 42-44; F.K.Th. van Iterson, 'De zwavelzuurbereiding door de Staatsmijnen te Lutterade', *De Ingenieur* 47 (1932) A280-A285.
- 27 Homburg, 'Zwavelzuur', 180-203; *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie*, 4, 29-31; *Tijdschrift voor Nijverheid* (1865) 422.
- 28 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 29-111, 206-207.
- 29 Eijndman, *Leerboek*, 32-37; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 33-53, 206-207.
- 30 E. Homburg, "'Schrikbeelden van scheikundigen aard': chemische industrie, chemische wetenschap en het milieu", *Tijdschrift voor Geschiedenis* 107 (1994) 439-466; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 20-21, 62-71, 102-103; S. Wilmot, 'Pollution and public concern. The response of the chemical industry in Britain to emerging environmental issues, 1860-1901' in E. Homburg, A.S. Travis en H.G. Schröter eds., *The chemical industry in Europe, 1850-1914: industrial growth, pollution and professionalization* (Dordrecht, Boston en Londen 1998) 121-147.
- 31 J.M. Cohen, *The life of Ludwig Mond* (Londen 1956) 55, 62-63, 65-71, 79; E. Kopp, *Wiener Weltausstellung 1873. Bericht über Gruppe III, chemische Industrie* (Schaffhausen 1874) 49; G.H. Leignes Bakhoven, 'Op het gebied der chemische industrie', *Tijdschrift van de Maatschappij voor Nijverheid* (1878) 88-92; Archief Ketjen, plattegronden fabrieken te Nieuwer-Amstel en Uithoorn, 1894.
- 32 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 72-73; J.S. Doting en H.I. Waterman, *Handleiding bij de studie van het zwavelzuurbedrijf* (Dordrecht 1930); Van Iterson, 'De zwavelzuurbereiding'; Archief Shell, inv.nr. 8 (1890/1945), no. 1764, brief Schönfeld aan De Kok 29 maart 1929.
- 33 *50 Jahre im Dienst des technischen Fortschritts, 1920-1970: Forschen, Planen, Bauen/ Lurgi Gesellschaft für Chemie und Hüttenwesen mbH* (Frankfurt a/M 1971) 50-51; [G. Küffner], *Lurgi, the technology-oriented plant contractor, 1897-1997* (Frankfurt a/M 1997) 6; *Amsterdamsche Superfosfaatfabriek*, 17, 31; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 72-73; Vens, *Super op de plaat*, 29-33; Archief Shell, inv.nr. 8 (1890/1945), no. 1764, brief directie Ketjen aan Commissarissen 2 dec. 1924, brief Kessler aan de Kok 2 nov. 1927, brief Schönfeld aan de Kok 29 maart 1929.
- 34 Van Iterson, 'De zwavelzuurbereiding'.
- 35 *Van kiem tot korrel. Nederlandsche Stikstof Maatschappij N.V., 1929-1979* (z.p. 1979) 76, 79, 86, 88, 108.
- 36 Doting en Waterman, *Handleiding*, 91-92; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 76-77.
- 37 ARA, Archief afdeling Volksgezondheid (1902) 1918-1950 (1976), inv.nr. 1648, correspondentie tussen gemeentebesturen en de (hoofd)inspecteurs Baert, Coebergh, Verwaal, Eijkel en Schuurisma, 1926-1939, ongedateerd rapport Waterman, en ongedateerd verslag bespreking Waterman en Baert met directie VCF; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 85-86; Doting en Waterman, *Handleiding*.
- 38 H. van Zon, 'Kunstmestproductie en luchtverontreiniging' (ongepubliceerd manuscript, Groningen juni 1999) 4, 6, 12-17; H.C.M. Edelman, 'Wij vergiften de lucht! Rook, roet en uitlaatgassen vervuilen de atmosfeer', *Katholieke Illustratie* 89 (1955) 2564-2567.
- 39 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 39-43, 77-78, 85-86, 95; M. Stolberg, *Ein Recht auf saubere Luft? Umweltkonflikte am Beginn des Industriezeitalters* (Erlangen 1994) 232-241.
- 40 Vens, *Super op de plaat*, 31-33; S. Bennett, 'Temperature control in the chemical and metallurgical industries, 1870-1910' in Homburg e.a. eds., *The chemical industry*, 221-237; Archief Shell, inv.nr. 8 (1890/1945), no. 1764, notitie Boldingh mei 1922.
- 41 J. Eysten, 'De zwavelzuurfabriek te Uithoorn', *Eigen Haard* 41 (1915) 90-93; *De fabrieken en werkplaatsen*, 61, 73; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 84-86, 95, 98-99.
- 42 Archief Shell, inv.nr. 8 (1890/1945), no. 1764, brief 15 dec. 1932, Jaarverslagen Ketjen 1937 en 1938, maandrapporten Ketjen nov. 1938 en nov. 1939.
- 43 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 85.
- 44 Vens, *Super op de plaat*, 10, 82-84.
- 45 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 99-102; Vens, *Super op de plaat*, 31, 33.
- 46 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 102; *Van superfosfaat tot mengmest*, 27; Vens, *Super op de plaat*, 29, 177.
- 47 F.W. Krecke, *Handleiding der chemische technologie* (Gorinchem 1889) 2e druk, 145-147, 157-160; Eijndman, *Leerboek*, 45-49, 53; Ost, *Lehrbuch*, 63-66; *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie*, 8; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 133-135; Homburg, 'Zwavelzuur'.
- 48 Homburg, 'Zwavelzuur', 180-190, 196; Schot en Homburg, 'Meekrap', 238-239; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 112-119.
- 49 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 120-123; B. Sorms, 'Clemens Winkler - a chemist at the Freiberg Mining Academy during the 2nd phase of industrialization in Germany', *History and Technology* 7 (1990) 51-61.
- 50 Voor dit en onderstaande: A. von Nagel, *Fuchsin, Alizarin, Indigo. Der Beginn eines Weltunternehmens* (Ludwigshafen 1970) 4e druk, 37-42; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 123-130; T.I. Williams, *The chemical industry: past and present* (Harmondsworth 1953) 58-59; Doting en Waterman, *Handleiding*, 149-205.
- 51 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 128-131; Von Nagel, *Fuchsin*, 39-42; A.S. Travis, 'High pressure industrial chemistry: The first steps, 1909-1913, and the impact' in A.S. Travis e.a. eds., *Determinants in the evolution of the European chemical industry, 1900-1939: New technologies, political frameworks, markets and companies* (Dordrecht, Boston en Londen 1998) 3-21.
- 52 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 131-138.
- 53 *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie*, 13-14; Drösser, *Die technische Entwicklung*, 133-136.

- 54 Daubs naam komt niet voor in het 'Chemiker-Büchlein' van de BASF, noch in het overzicht van BASF-researchchemici dat Reinhardt publiceerde. Vgl. BASF-archief, Ludwigshafen: 'Chemiker-Büchlein' (ongepubliceerd manuscript, ca. 1896); C. Reinhardt, *Forschung in der chemischen Industrie. Die Entwicklung synthetischer Farbstoffe bei BASF und Hoechst, 1863 bis 1914* (Freiberg 1997) 335-364, 394-400.
- 55 Drösser, *Die technische Entwicklung*, 139-143; Haber, *The chemical industry*, 112.
- 56 *Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie*, 13-18; Archief Shell, inv.nr. 3, no. 216 (1890/1916), correspondentie met Mij. voor Zwavelzuurbereiding (Ketjen) en met fa. Martyn jr. in Penang, 14 juli - 19 augustus 1891.
- 57 Archief Shell, inv.nr. 3, no. 36, brief van Sluyterman van Loo aan Loudon 25 febr. 1902; inv.nr. 3, HADM (apr./mei 1902), brief Loudon aan de Waarnemend Hoofdadministrateur 8 apr. 1902; inv.nr. 3, no. 213 (1900/1905), brief Loudon aan Deterding 22 apr. 1902; inv.nr. 3, no. 105 (1905) brief Loudon aan Deterding 4 aug. 1905; inv.nr. 3, brief Du Pon 31 mrt. 1908; inv.nr. 3, brieven Rolf van Hasselt 10 en 16 sept. 1908.
- 58 Van Nierop & Baak, *Naamlooze Vennootschappen, 1904-1935*; *SJ* 1915/16, 324; Huf, *Zeventig jaar*, 97; H. Koopmans, *Vijftig jaar scheikundige nijverheid in Nederland* (Delft 1967) 19; *CW* 49 (1953) 594-595; Van Iterson, 'De zwavelzuurbereiding', A280; Haber, *The chemical industry*, 153-154.
- 59 Centraal Archief DSM, Heerlen, H.J. Merx, *Chronologisch overzicht van de geschiedenis van het Stikstofbindingsbedrijf, 1925-1952* (typoscript, Heerlen 1955) 23, 29.
- 60 H.J.K. van Sluis, 'Zwavelzuur: Steunpilaar van de moderne industrie', *Natuur en Techniek* (1955) 353-360; J.H. Schuringa, 'Een nieuw type zwavelzuurfabriek in Nederland', *Chemisch Weekblad* 48 (1952) 323; *CW* 52 (1956) 812-813; *CW* 54 (1958) 250-252; Blom, *100 jaar zinkproductie*, 48, 50, 59, 106; *Ketjen Nieuws* nr. 127 (1 juli 1966); Vens, *Super op de plaat*, 84-85, 109-114, 150-157.
- 61 G.P.J. Verbong en E. Homburg, 'Chemische kennis en chemische industrie' in Lintsen e.a. eds., *Geschiedenis van de techniek in Nederland* (Zutphen 1994) dl. 5, 242-269, aldaar 265-267; C. Freeman e.a., 'Chemical process plant: Innovation and the world market', *National Institute Economic Review* no. 45 (1968) 29-51; C. Freeman en L. Soete, *The economics of industrial innovation* (Cambridge, Mass. 1997) 98-105; A. van Rooij, *Building the plant. The history of engineering contracting in the Netherlands* (ongepubliceerd manuscript, Maastricht 1999).
- 62 Archief Shell, inv.nr. 190C (1901/1905), no. 2A, map 30, brief J.W.H. Westerbaan Muurling aan H. Loudon 28 sep. 1904; inv.nr. 3, no. 213 (1900/1905) Loudon aan directie KNPM 10 febr. 1905, idem directie KNPM aan Loudon 28 feb. 1905 en 13 mrt. 1905; inv.nr. 5, no. 723 (1905/1906) Loudon aan F.W. Bakema 6 febr. 1906; Bloembergen, *Vijf en zeventig*, 66-67, 70-71, 74; R. Mückenberger, *Handbuch der chemischen Industrie* (Berlijn 1913) 5e druk, 4e afd., 13-21; *CW* 13 (1916) 33; De Wit, *Windmill*, 18, 22, 24, 26, 30-31; Verbong en Homburg, 'Chemische kennis', 265-267; GA Vlaardingen, Archief ENCK, inv.nr. 266, notulen bestuur ZCK, 28 juni 1916.
- 63 Archief Shell, inv.nr. 3, no. 223 (1890/1916), correspondentie met Merrem & La Porte, meerdere stukken: vooral bericht no. 19 van monteur Beyer te Pangkalan Brandan aan A. von Gröling, 2 nov. 1904.
- 64 Archief Shell, inv.nr. 3, no.'s 33, 36-40 en 311, brieven van Sluyterman van Loo, Späth en Technisch Bureau BPM en Technisch Bureau 'Insulinde' juni 1905 - aug. 1910; inv.nr. 5, no.'s 6, 726 en 727, brieven aan Beyderwellen, Coenen, Merrem & La Porte, Pijzel, Pleyte, Technisch Bureau BPM en Waley Cohen okt. 1906 - aug. 1910; inv.nr. 190D, no's 792 en 871; 'Sir Henri W.A. Deterding', *Maandblad van het personeel der verbonden petroleum-maatschappijen* 8 (1925) 48-49; [H.D.R.], 'De "Koninklijke" en de industrie', *De Bron* 10 (1926/7) 136-141.
- 65 C. Gerretson, *Geschiedenis der 'Koninklijke'* (Utrecht 1939) 2e druk, dl. 2, 331; R.J. Forbes en D.R. O'Beirne, *The technical development of the Royal Dutch/Shell, 1890-1940* (Leiden 1957) 356; *Koninklijke Nederlandsche Maatschappij tot Exploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsch-Indië. Verslag over 1909*; idem, *over 1910, 1911, 1912*; Archief Shell, inv.nr. 3, no.'s 163 en 202, correspondentie met E. Hartmann (& F. Benker), juni 1908 - sep. 1911 en met W. van Tienen, 4 okt. 1910.
- 66 Mückenberger, *Handbuch*, 4e druk; idem, *Handbuch*, 5e druk, IVe afd., 17-20, 51; *50 Jahre*, 31-32; [Küffner], *Lurgi*, 24; Archief Shell, inv.nr. 3, no. 163, brieven van E. Hartmann & F. Benker, Ingenieur-Chemiker, Wiesbaden en Parijs aan de BPM, 20 juni 1908 en E. Hartmann (vorm. E. Hartmann & F. Benker), Wiesbaden, aan de BPM, 6 sept. 1911.
- 67 J. Sommer, *Die Metallgesellschaft. Ihre Entwicklung dargestellt für die Concern-Angehörigen* (Frankfurt a/M 1931) 32-33, 41-46, 50-65, 81-118 (met dank aan Lurgi AG, Frankfurt); [Lurgi Chemie], *Arbeits-Gebiet der Lurgi Gesellschaft für Chemie und Hüttenwesen mbH: Öfen, Schwefelsäure-Anlagen, Phosphorsäureanlagen* (Frankfurt a/M 1930); *50 Jahre*; [Küffner], *Lurgi*; Blom, *100 jaar zinkproductie*, 59, 63, 106; Vens, *Super op de plaat*, 26-33; Van Iterson, 'De zwavelzuurbereiding'; Merx, *Chronologisch overzicht*, 8-9; Doting en Waterman, *Handleiding*, 41-44, 67-74; Archief Shell, inv.nr. 8 (1890/1945), no. 1764, jaarverslag Ketjen 1922 voor het College van Commissarissen; GA Vlaardingen, Archief ENCK, inv.nr. 164, correspondentie met Lütjens & Ludewig, 1923-1925.
- 68 Bijvoorbeeld Didier, Bamag, Uhde, Coppée (vgl. hoofdstuk 5), Stone & Webster, Stork, Werkspoor en Koppers. Zie [Stettiner Chamottenfabrik Aktiengesellschaft vormalig Didier], *50 Jahre Aktiengesellschaft 1872-1922* (Berlijn 1922) 17-44, 87-130; Van Rooij, *Building the plant*.
- 69 Van Rooij, *Building the plant*; R. Landau en N. Rosenberg, 'Successful commercialization in the chemical process industries' in N. Rosenberg, R. Landau en D.C. Mowery eds., *Technology and the Wealth of Nations* (Stanford 1992) 73-119, aldaar 104-105.
- 70 Vgl. hoofdstuk 7; en Landau en Rosenberg, 'Successful commercialization', 102-111; Freeman e.a., 'Chemical process plant'; Van Rooij, *Building the plant*.



## Chemie

### Chemie/hoofdstuk 1

#### Chemische techniek en chemische industrie

- F. Aftalion, *A history of the international chemical industry* (Philadelphia 1991).
- A. Arora, R. Landau en N. Rosenberg eds., *Chemicals and long-term economic growth. Insights from the chemical industry* (New York etc. 1998).
- F. de Boer, 'Elf-provinciën-nummer', *NCI. Orgaan van de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie* (mei 1968).
- C. Freeman en L. Soete, *The economics of industrial innovation* (Cambridge, Mass. 1997) 3e druk, 85-136.
- L.F. Haber, *The chemical industry 1900-1930: International growth and technological change* (Oxford 1971).
- E. Homburg, 'The history of the Dutch chemical industry' in *The anatomy of chemical Holland*. Special issue of *Chemisch Magazine* (Rijswijk 1986) 16-22.
- J. ten Hove, 'De chemische industrie in Nederland 1800-1990' in *Delfstoffenwinning en chemische industrie. Een geschiedenis en bronnenoverzicht* (Amsterdam 1993) 13-63.
- H. Koopmans, *Vijftig jaar scheikundige nijverheid in Nederland* (Delft 1967).
- R. Landau en N. Rosenberg, 'Successful commercialization in the chemical process industries' in N. Rosenberg, R. Landau en D.C. Mowery eds., *Technology and the wealth of nations* (Stanford 1992) 73-119.
- T.H. Norton, *Die chemische Industrie in Belgien, Holland, Norwegen und Schweden* (Brunswijk 1914).
- M.F. Schenk, *De Nederlandse chemische industrie* (ongepubliceerd manuscript, z.p. c1956).
- J.K. Smith, 'The evolution of the chemical industry: a technological perspective' in S.H. Mauskopf ed., *Chemical sciences in the modern world* (Philadelphia 1993) 137-157.
- P.H. Spitz, *Petrochemicals: the rise of an industry* (New York etc. 1988).
- A.S. Travis e.a. eds., *Determinants in the evolution of the European chemical industry, 1900-1939: new technologies, political frameworks, markets and companies* (Dordrecht, Boston en Londen 1998).
- [VNCI], 'De historische ontwikkeling van de chemische industrie in Nederland', *Chemisch Weekblad* 49 (1953) 594-609.
- N.G. de Voogt en A.J.C. de Waal, 'Scheikunde en scheikundige technologie' in *Wat is een uitvinding en wat werd in een kwart eeuw uitgevonden?* (s-Gravenhage 1937) 188-220.

### Chemie/hoofdstuk 2

#### Grootschalig produceren: superfosfaat en zwavelzuur, 1890-1940

- N.V. *Amsterdamsche Superfosfaatfabriek, Amsterdam - Pernis, 1907-1917* (z.p. 1917).
- [E. Bloembergen], *Vijf en zeventig jaar superfosfaat. Gedenkboek ter gelegenheid van het vijfenzeventigjarig bestaan van het superfosfaatbedrijf in Nederland* (Utrecht 1953).
- W. Blom, *100 jaar zinkproductie in Nederland* (Eindhoven 1992).
- J.S. Doting en H.I. Waterman, *Handleiding bij de studie van het zwavelzuurbedrijf* (Dordrecht 1930).
- E. Drösser, *Die technische Entwicklung der Schwefelsäurefabrikation und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung* (Leipzig 1908).
- F.H. Eijndman jr., *Leerboek der chemische technologie* (Amsterdam 1906).
- J. Eysten, 'De zwavelzuurfabriek te Uithoorn', *Eigen Haard* 41 (1915) 90-93.
- E. Homburg, 'Zwavelzuur' in H.W. Lintsen e.a. eds., *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving* (Zutphen 1993) dl. 4, 181-203.
- Honderd jaar zwavelzuur-fabricatie. Fa. G.T. Ketjen & Co., Maatschappij voor Zwavelzuurbereiding. 1835 - 1 april 1935* (z.p. 1935).
- P. Huf, *Zeventig jaar Coenen & Schoenmakers, Veghel, 1882 - 28 juli - 1952* (z.p. 1952).
- F.K.Th. van Iterson, 'De zwavelzuurbereiding door de Staatsmijnen te Lutterade', *De Ingenieur* 47 (1932) A280-A285.
- K.J.B. De Kleermaeker, 'Vijftig jaar meststoffenontwikkeling', *Chemisch Weekblad* 50 (1954) 565-570.
- [G. Küffner], *Lurgi, the technology-oriented plant contractor, 1897-1997* (Frankfurt am Main 1997).
- R. Landau en N. Rosenberg, 'Successful commercialization in the chemical process industries' in N. Rosenberg, R. Landau en D.C. Mowery eds., *Technology and the wealth of nations* (Stanford 1992) 73-119.
- P.S. Pels, *Een economisch-statistisch onderzoek naar de chemische industrie in Nederland* (Haarlem 1944) (ook verschenen als proefschrift in 1943).
- J.H. van Stuijvenberg, *Het Centraal Bureau een coöperatief krachtenveld in de Nederlandse landbouw 1899-1949* (Rotterdam 1949) 231-298.
- Van superfosfaat tot mengmest. 75 jaar lokatie Pernis* (z.p. 1985).
- K. de Vrieze, *Mijne herinneringen omtrent het gebruik van kunstmest. Tevens handleiding voor het gebruik van kunstmest* (Amsterdam 1907).
- D. de Wit, *Windmill, wieken naar de wind gekeerd. Van boerencoöperatie naar internationale organisatie* (Vlaardingse 1990).
- J.L. van Zanden, 'The first green revolution: the growth of production and productivity in European agriculture, 1870-1914', *Economic History Review* 44 (1991) 215-239.