

Een eeuw chemische technologie (in Nederland)

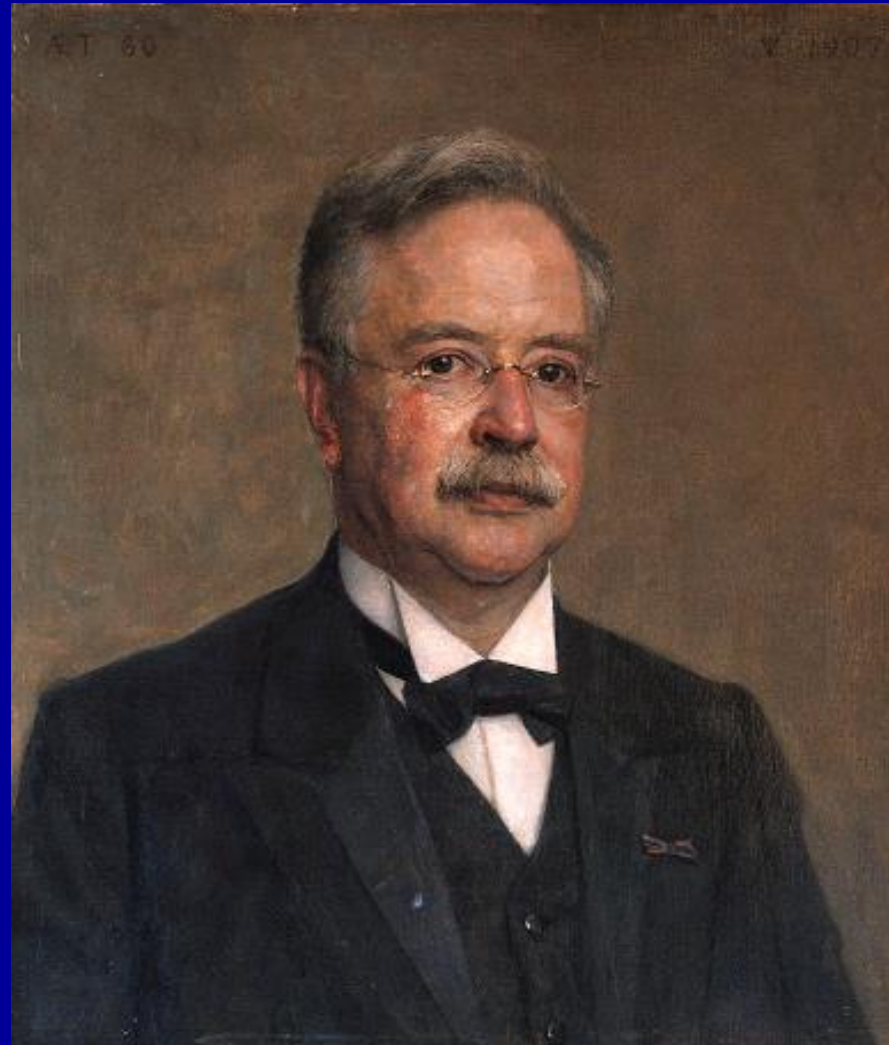
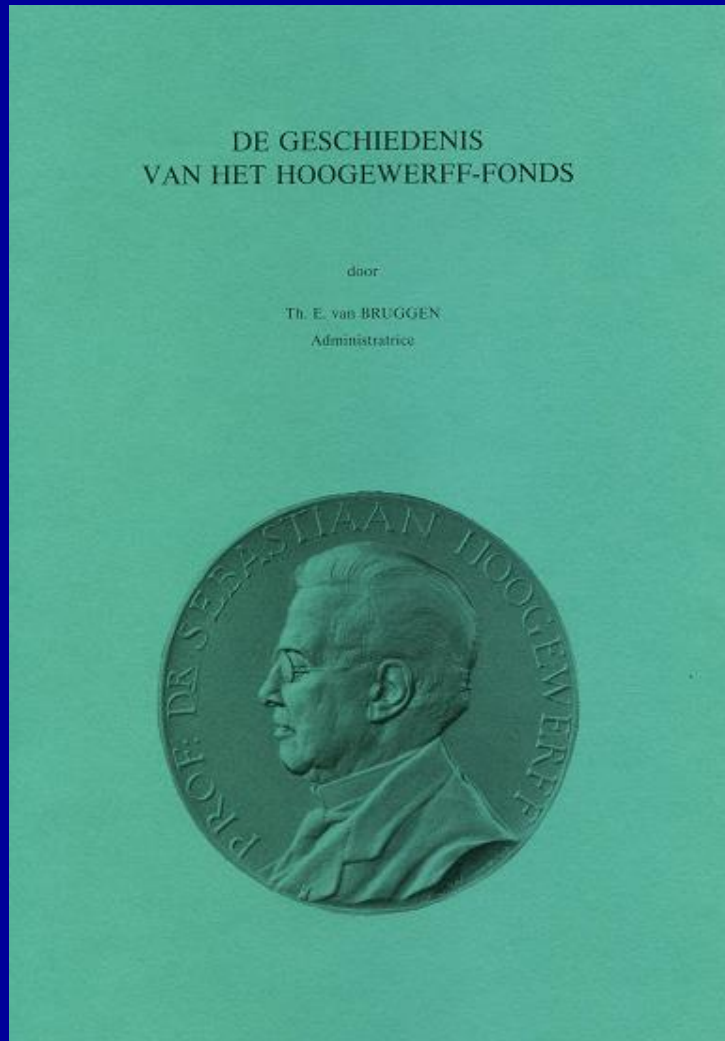
Delft, 26 November 2022

Ernst Homburg

Universiteit Maastricht

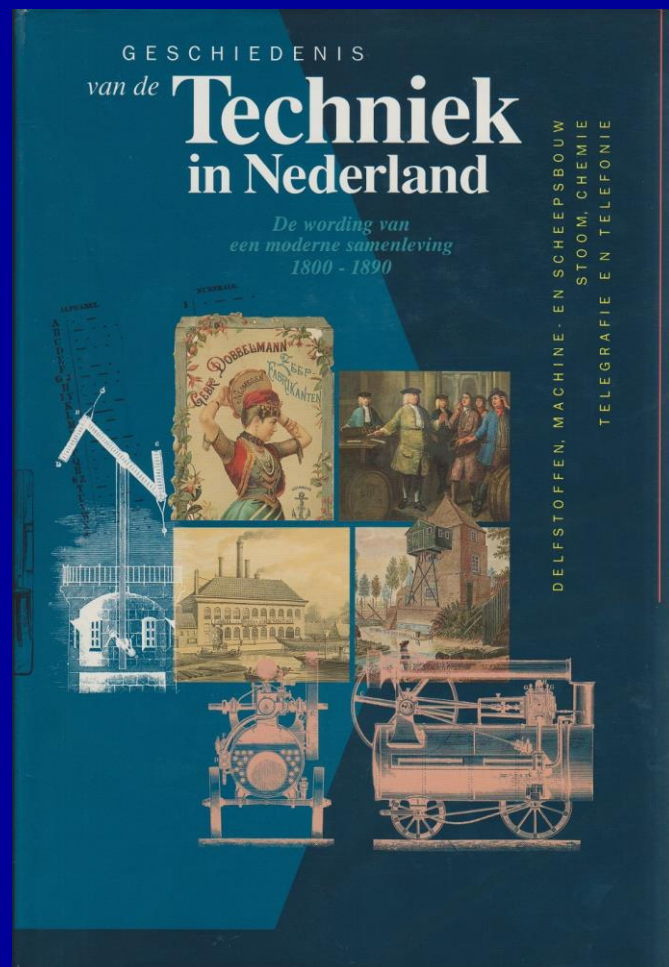
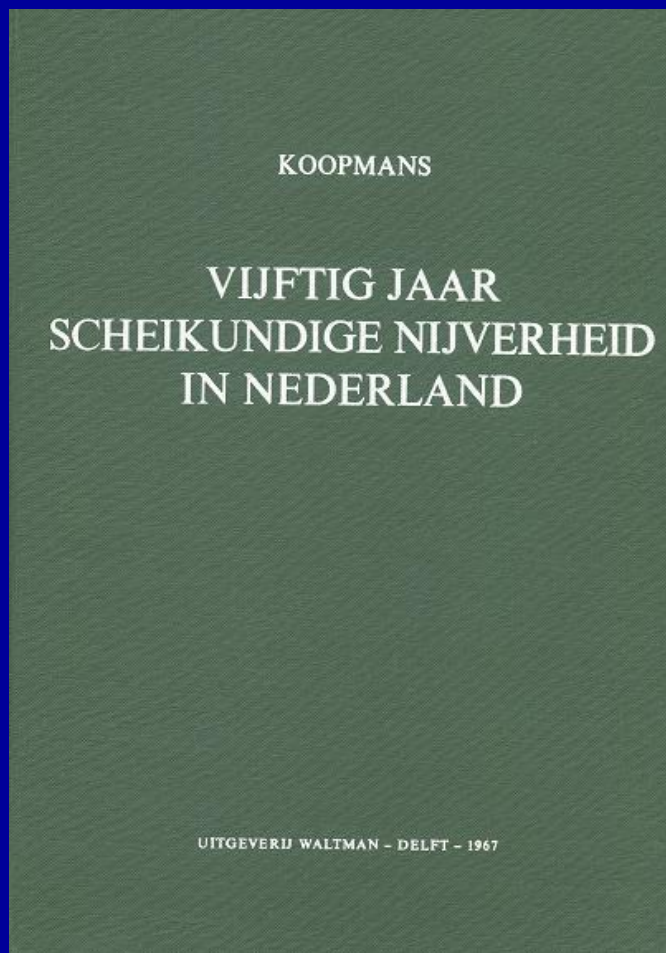
Met dank aan co-auteur Ton van Helvoort

Aanleiding: jubileum Hoogewerff-Fonds (1917)

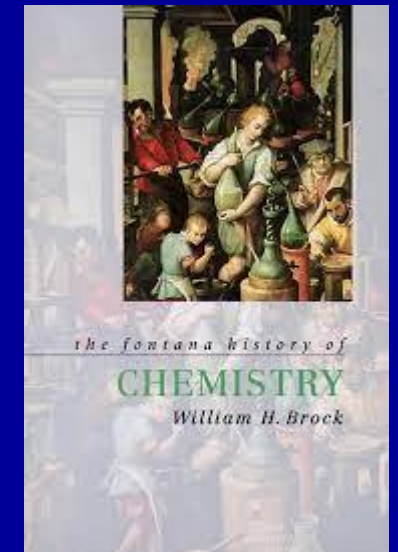
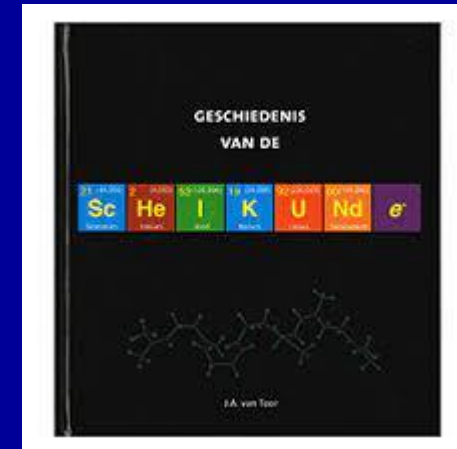
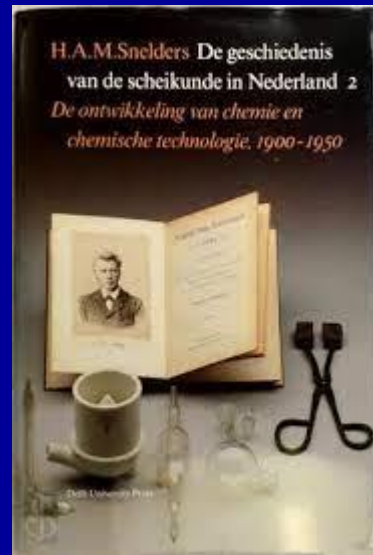


- HWF opgericht 1917; meer dan 30 jaar vóór NWO. Een van de eerste fondsen om wetenschappelijk onderzoek te stimuleren;
- Doel: bevorderen van verrichten wetenschappelijk onderzoek van chemische-technische aard. Via geld, oevreprijs, jongeren prijs, leerstoelen, etc.

50 jaar HWF: boek geschiedenis van de chemische industrie.
100 jaar HWF: een update maken? *Er zijn reeds zo veel geschiedenissen van de chemische industrie, nationaal en internationaal.*



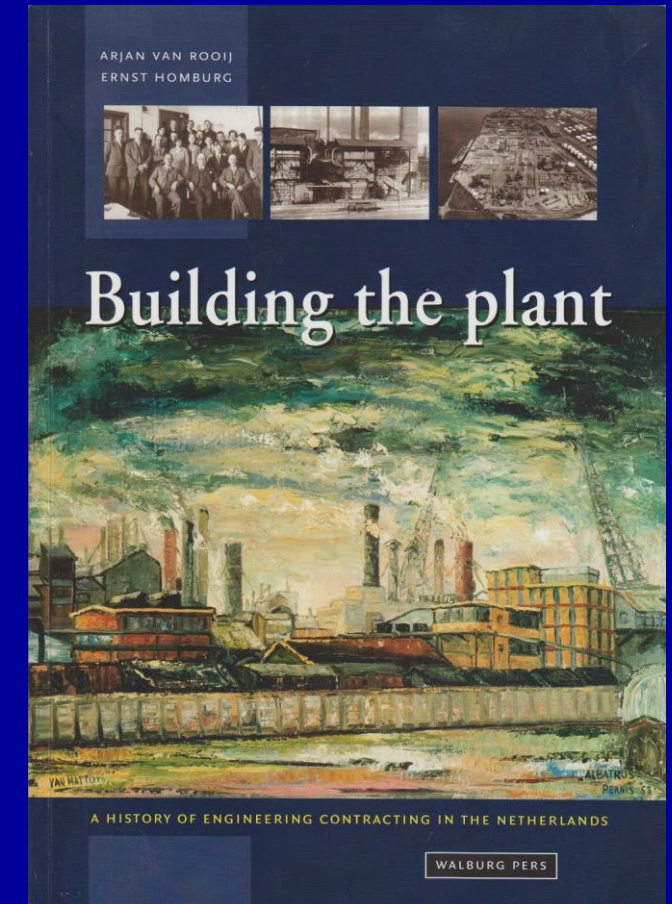
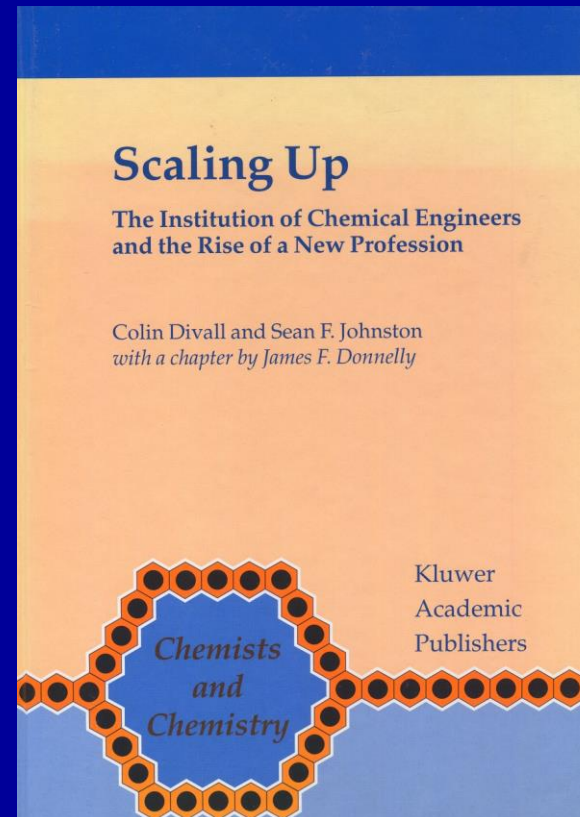
Over geschiedenis van de scheikunde/ chemie zijn er ook al veel boeken in binnen- en buitenland



Geschiedenis van de chemische technologie is een onderontwikkeld gebied

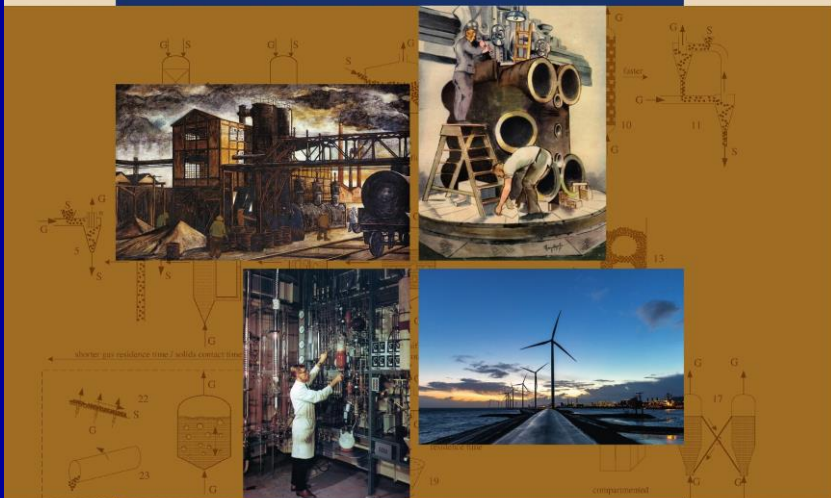
- Er zijn nauwelijks studies over de geschiedenis van de chemische technologie. Niet te vergelijken met bijvoorbeeld de geschiedenis van de stoommachine, e.d.
- Er zijn een paar boeken over de geschiedenis van chemical engineering; vooral over de professie en instituten. Niet over de discipline als geheel.
- En een boek over engineering contractors.

>> Keuze een discipline-geschiedenis te schrijven. Past bij doel HWF.



Inhoud van deze voordracht

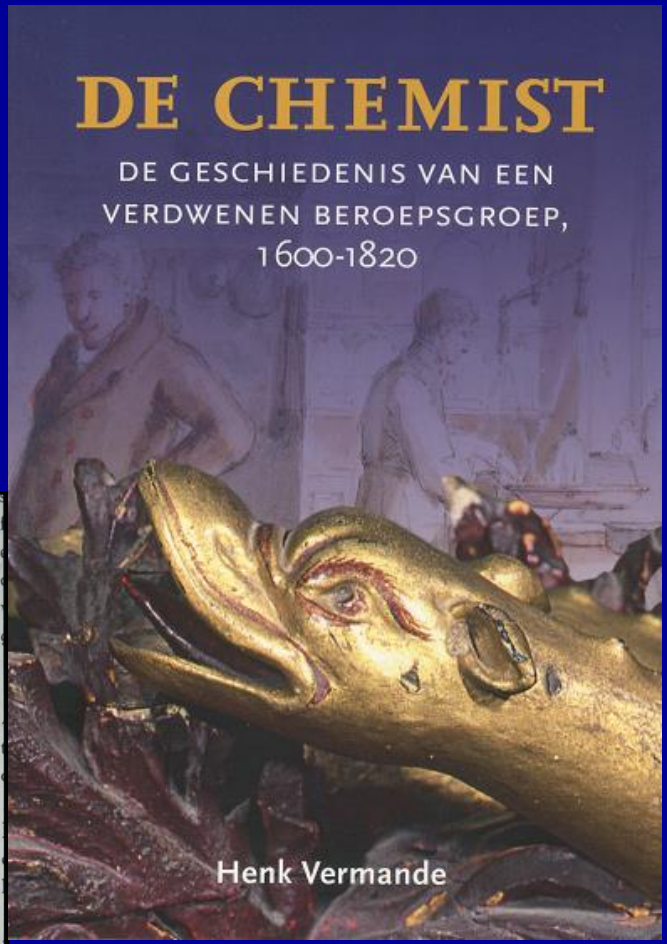
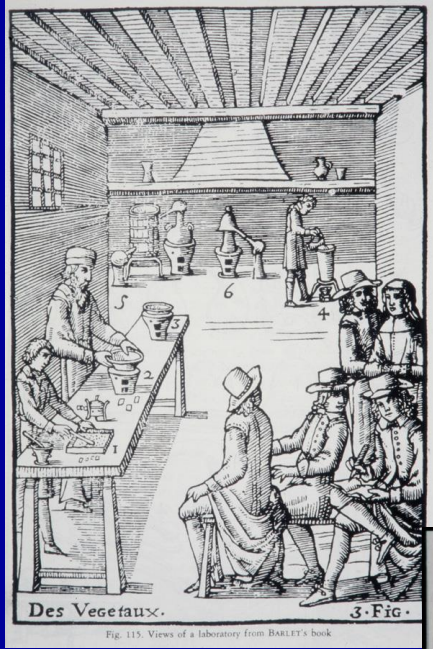
Een eeuw
chemische technologie
in Nederland



Ton van Helvoort en Ernst Homburg

- (1) Chemische techniek ca. 1600-1850: vb. zwavelzuur
- (2) Dominantie van werktuigbouw en machinefabrieken
- (3) Onderwijs in de chemische technologie ca. 1800-1920
- (4) Ontstaan van subdisciplines en de opbouw van het boek; universiteiten en industrie
- (5) Kort overzicht hoofdstukken 2 t/m 9
- (6) De algemene ontwikkeling in 5 perioden
- (7) Uitdagingen voor de toekomst

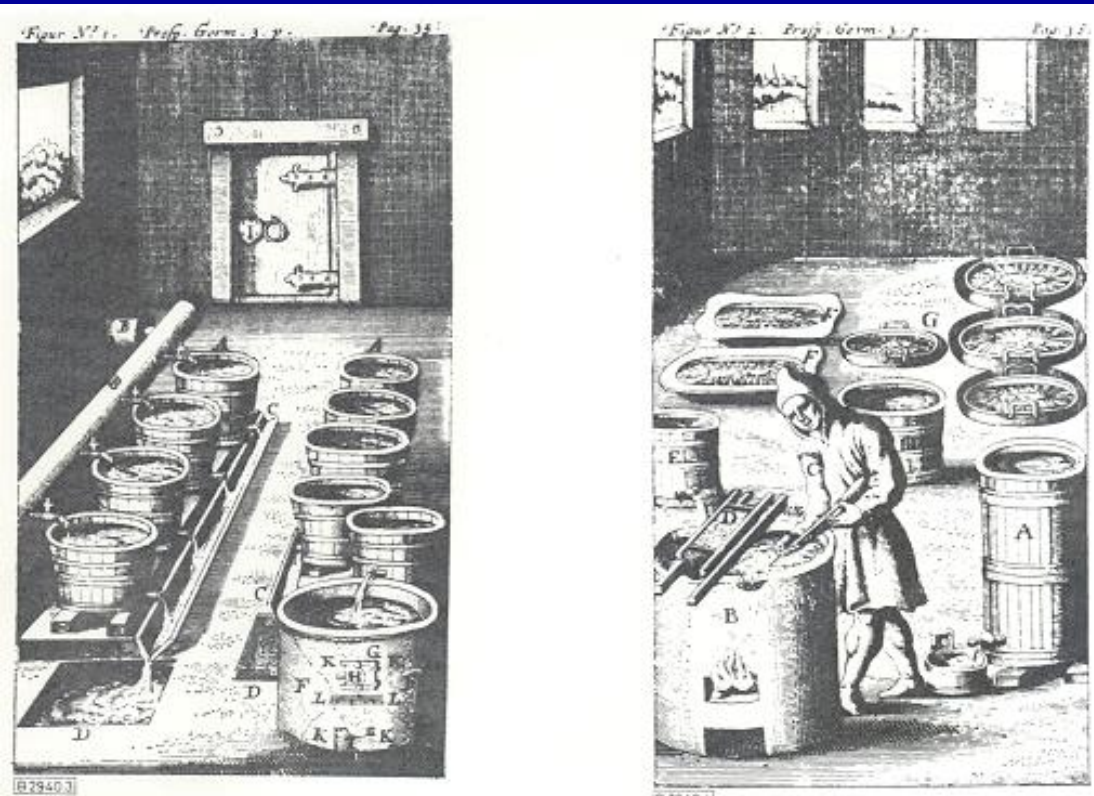
(1) Chemische techniek ca. 1600-1850



- Tot laat in de 18^{de} eeuw een **grote gelijkenis** tussen universitaire/ onderwijs laboratoria en en “industriële”/ ambachtelijke laboratoria: ovens en fornuizen (!)
- De **chemistenberoep** kwam op: een van de voorlopers van de chemische industrie.

Chemische technologie bouwt voort op talloze eeuwenoude en verschillende ambachtelijke praktijken

Salpeter raffinage (1750)

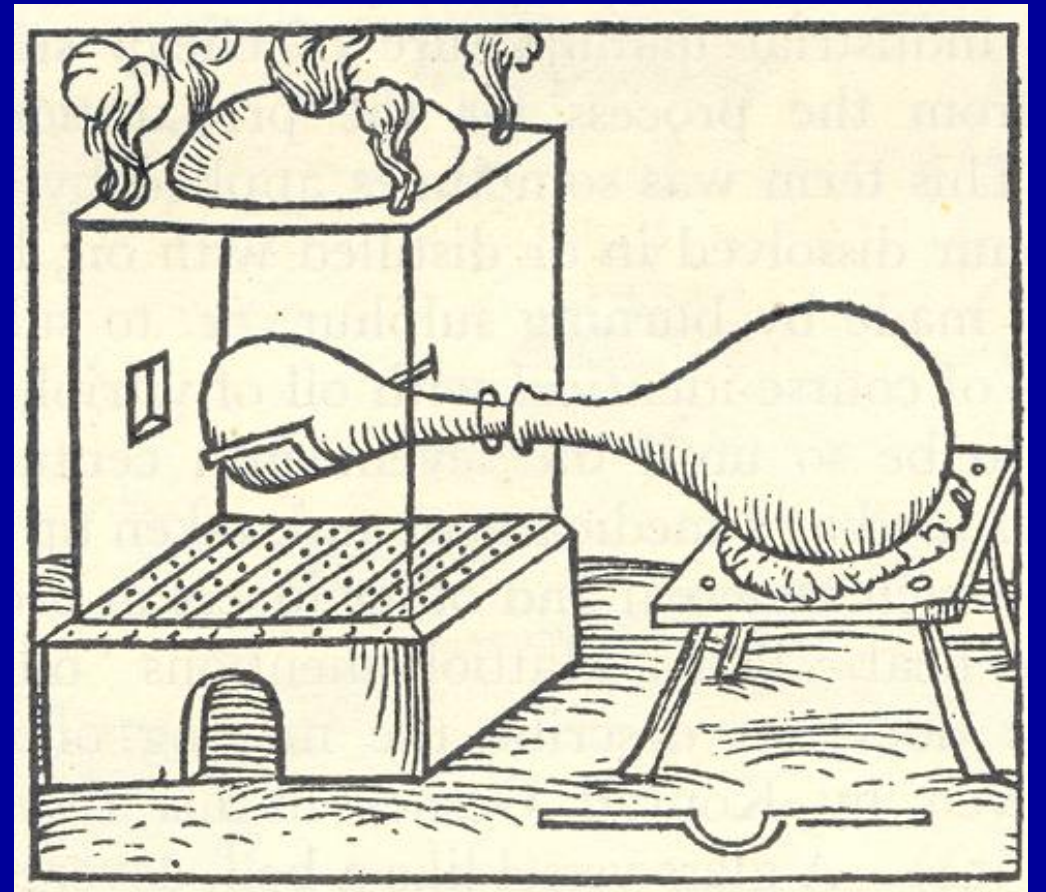


Bereiding salpeterzuur (1732)



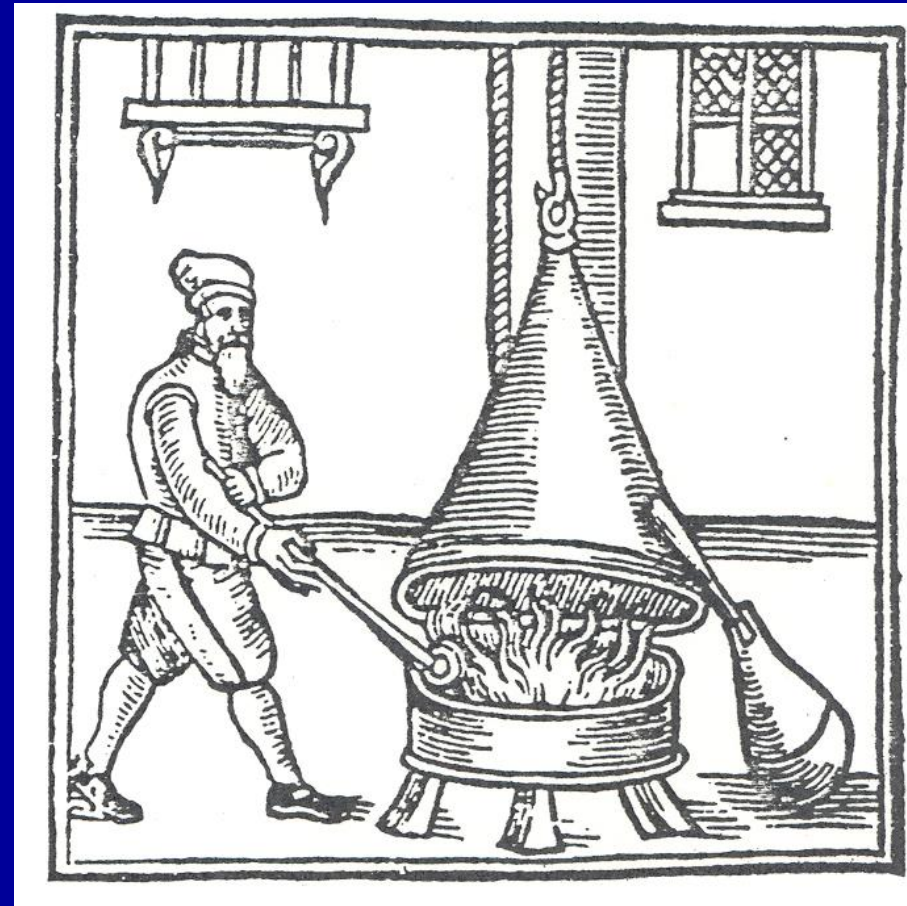
Voorbeeld: vitrioololie (H_2SO_4) (Middeleeuwen): geleidelijke schaalvergroting en nieuwe technieken

- Retort in reverbereer oven
- Vitriool (ijzersulfaat) omzetten in vitrioololie mbv droge destillatie
- Afb. ca. 1650
- Zeer analoog – ook qua schaal - aan andere laboratoria uit die tijd



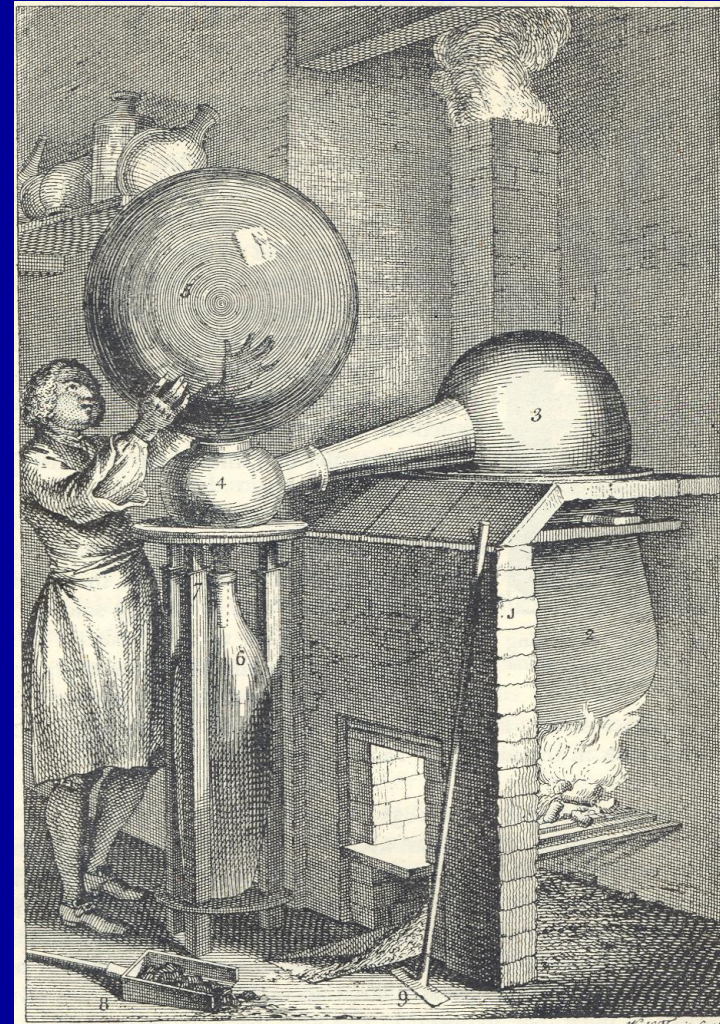
Zwavelzuur (H_2SO_4)

- Verbranden van zwavel en dampen opvangen in een 'klok'. Afb. 1650
- Genoemd door Biringuccio in 1540
- In 18^{de} eeuw ontdekte men: vitrioololie = zwavelzuur



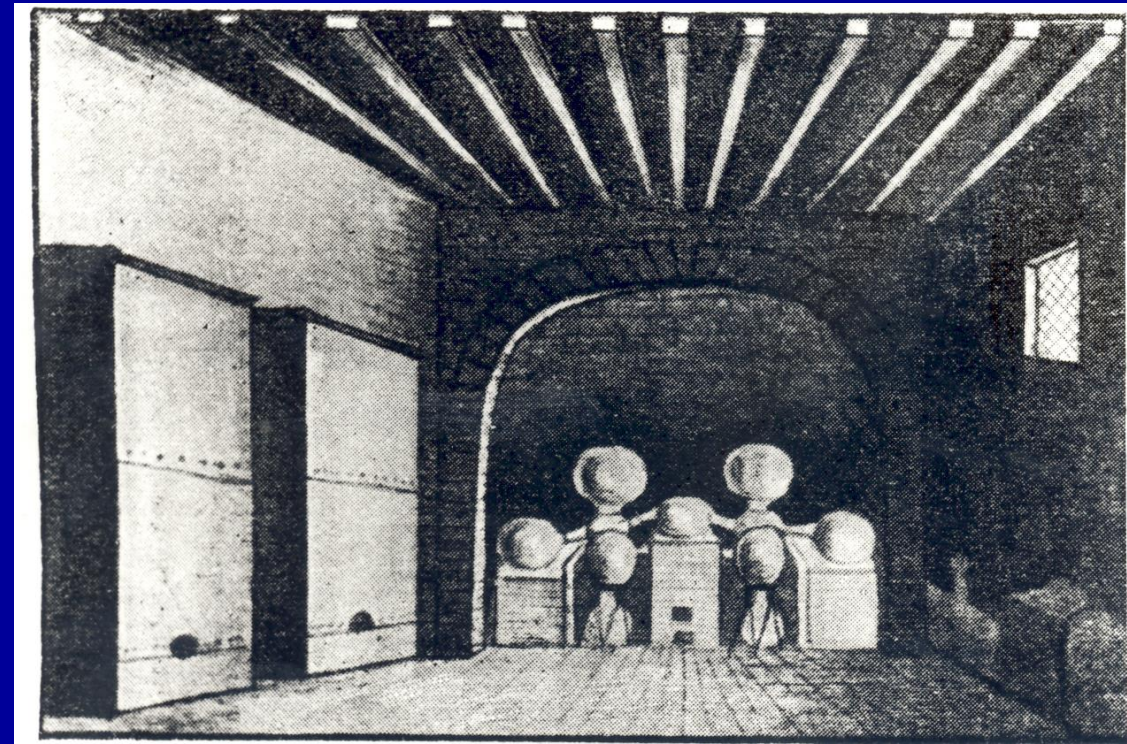
Innovatie door Joshua Ward (1740)

- Introduceerde grote glazen bollen (230 liter) met een kleine opening om verlies van SO_2 en SO_3 te vermijden
- Nieuwe apparatuur dus
- Kleine hoeveelheden salpeter bleken de opbrengst te verhogen
- Gevolg: grote prijsdaling



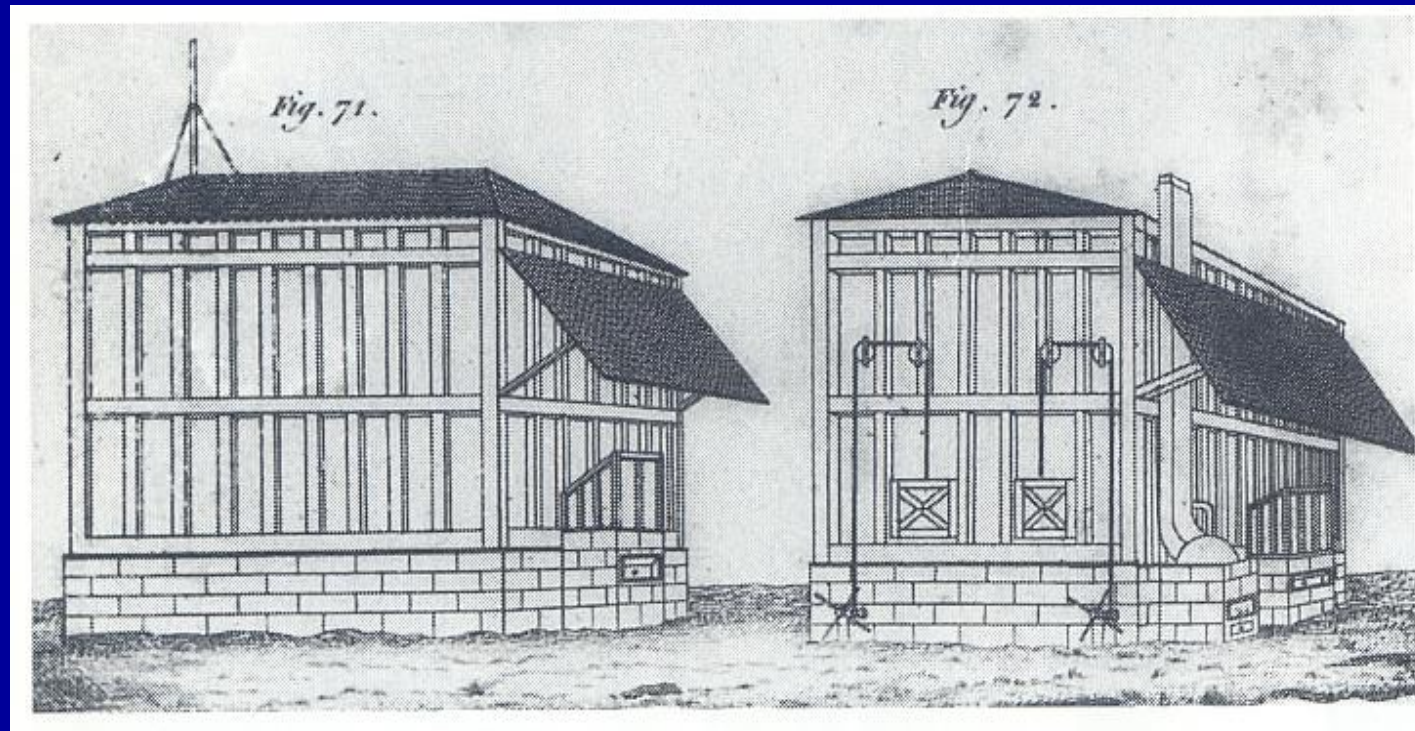
Loden kamers (1756)

- John Roebuck en Samuel Garbett vervingen de glazen bollen door loden kasten (later kamers genoemd), om risico van breuk te reduceren
- 200-300 glazen bollen of loden kasten per fabriek
- Schaalvergroting in 17^{de} en 18^{de} eeuw was meestal: meer van hetzelfde
- Maar ca. 1800: grotere installaties



Loden kamers in Frankrijk (1820)

- Schaalvergroting: chemie en chemische industrie groeien uit elkaar: de chemische technologie 'ontstaat'
- Vb. zonder en met automatische luchttoevoer



Productiecapaciteit zuurfabrieken (in 1000 kg)/ jaar)

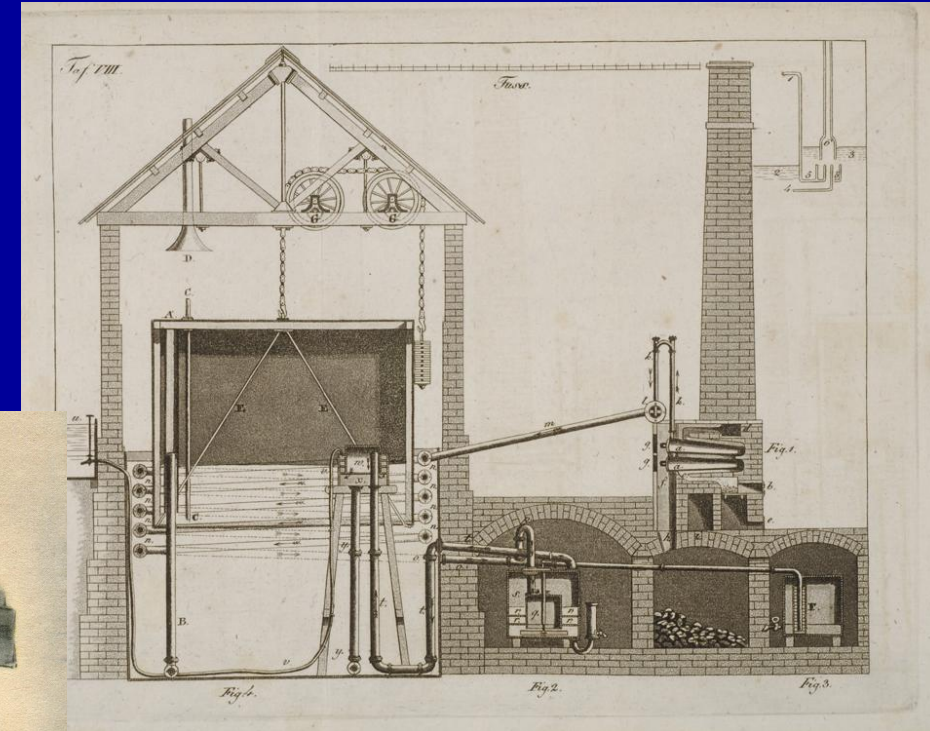
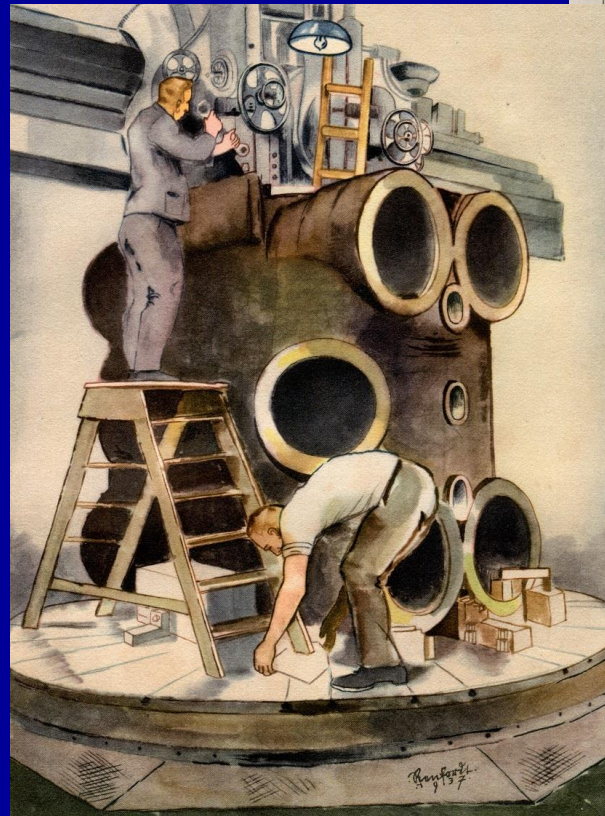
Jaar	Salpeterzuur per forhuis	Salpeterzuur per fabriek	Zwavelzuur per kamer	Zwavelzuur per fabriek
1760	1,5	9		
1770	1,5	15	1,25	75
1780			1,25	250-500
1835			400	400

Productiekosten H₂SO₄ (in fl/kg)

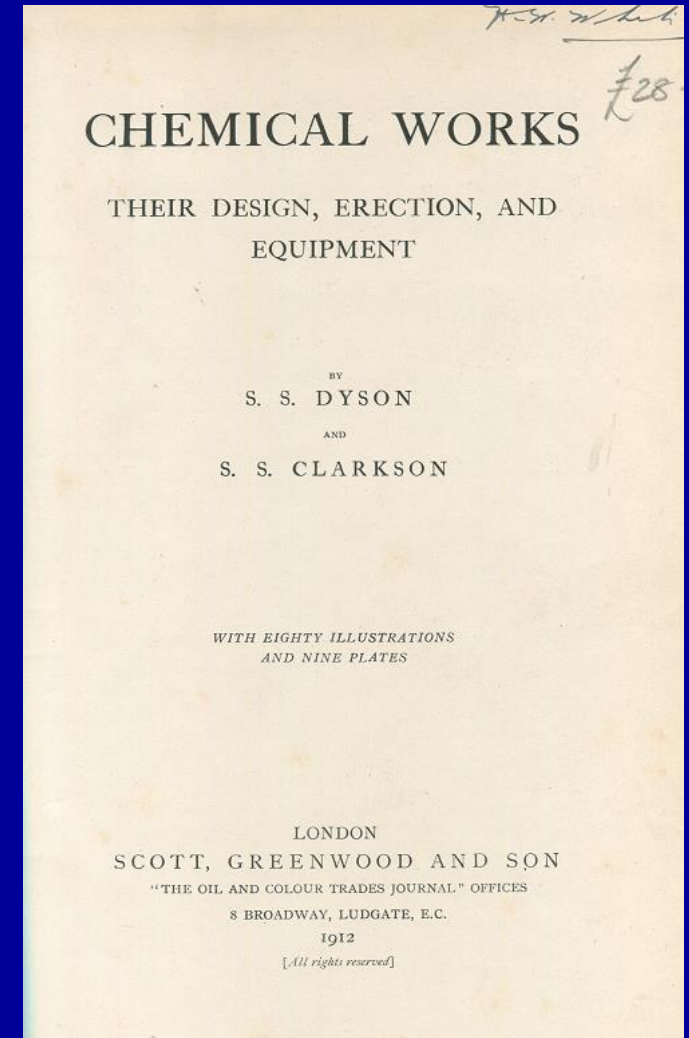
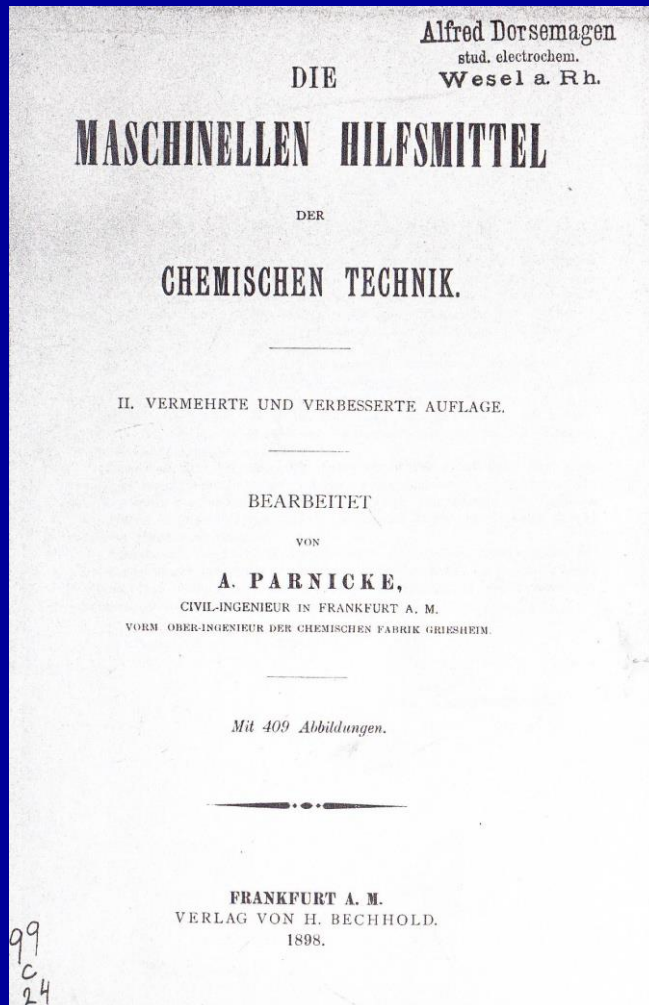
Jaar	Vitrioololie	Zwavelzuur
1740	7,5-11	21
1760	2,5	1,3-1,7
1810		0,15-0,2
1830		0,1

(2) Dominantie van werktuigbouw en machinefabrieken

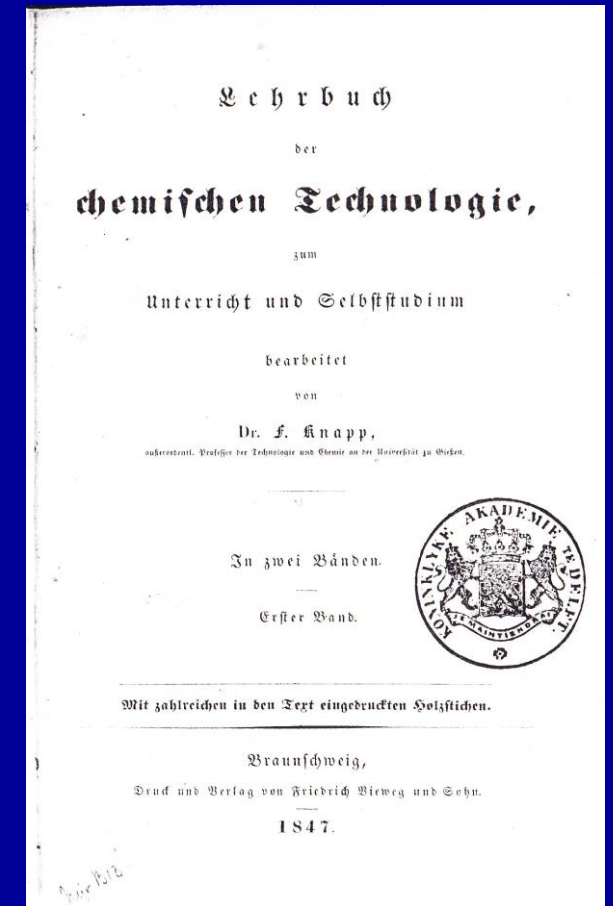
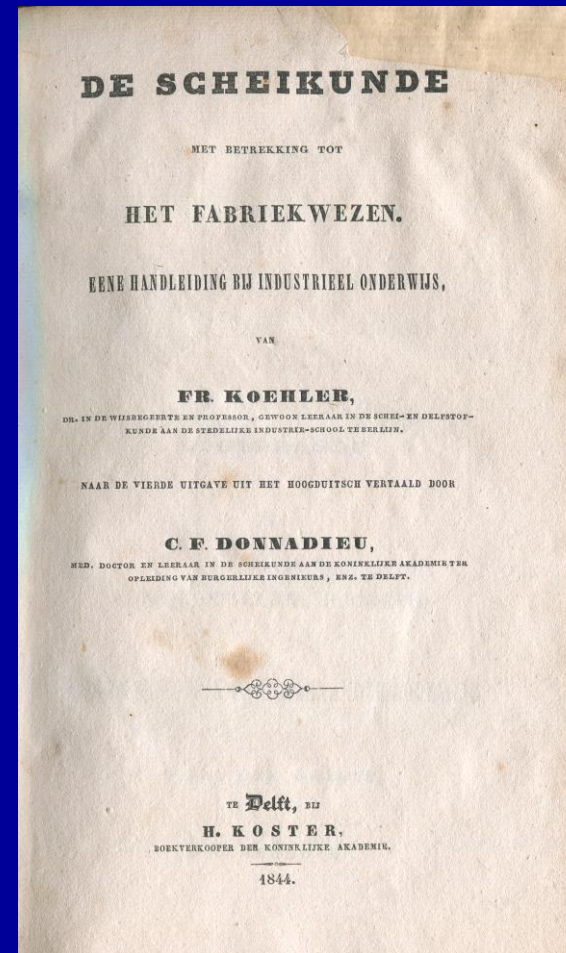
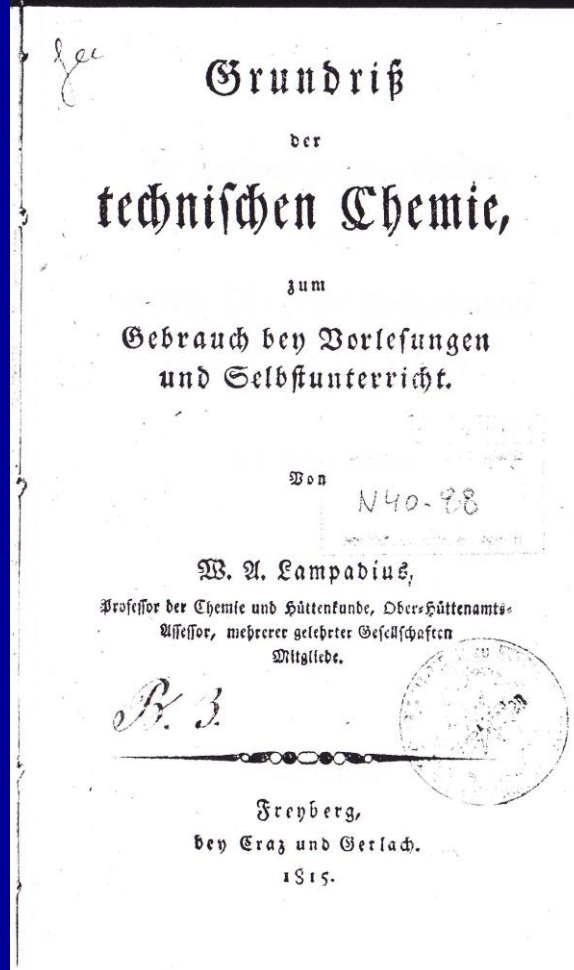
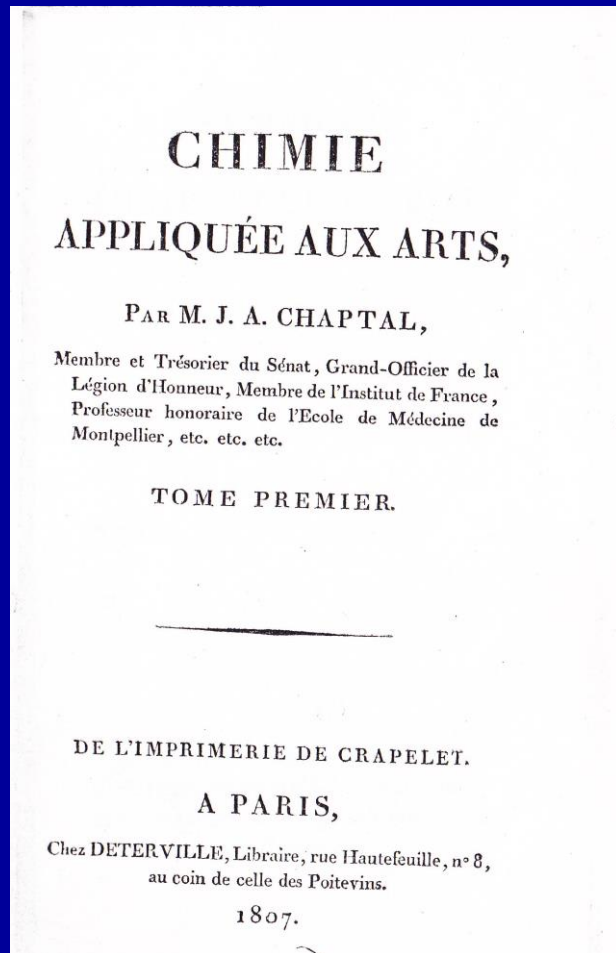
- Over de chemische technologie van de late-18^{de} en de 19^{de} eeuw is weinig bekend.
- Encyclopedieën en **handboeken**.
- Maar archiefonderzoek nodig over wat er in bedrijven gebeurde.
- Ambachtelijk; **werkplaatsen** in chemische fabrieken.
- Contractors in **gasfabricage**
- Opkomst gespecialiseerde **machinefabrieken**



Chemische technologie was in 19^{de} eeuw: beschrijvende handboeken
(zie § 3) en handboeken over chemische apparaten:
geen 'eigen' theoretisch kader of methode

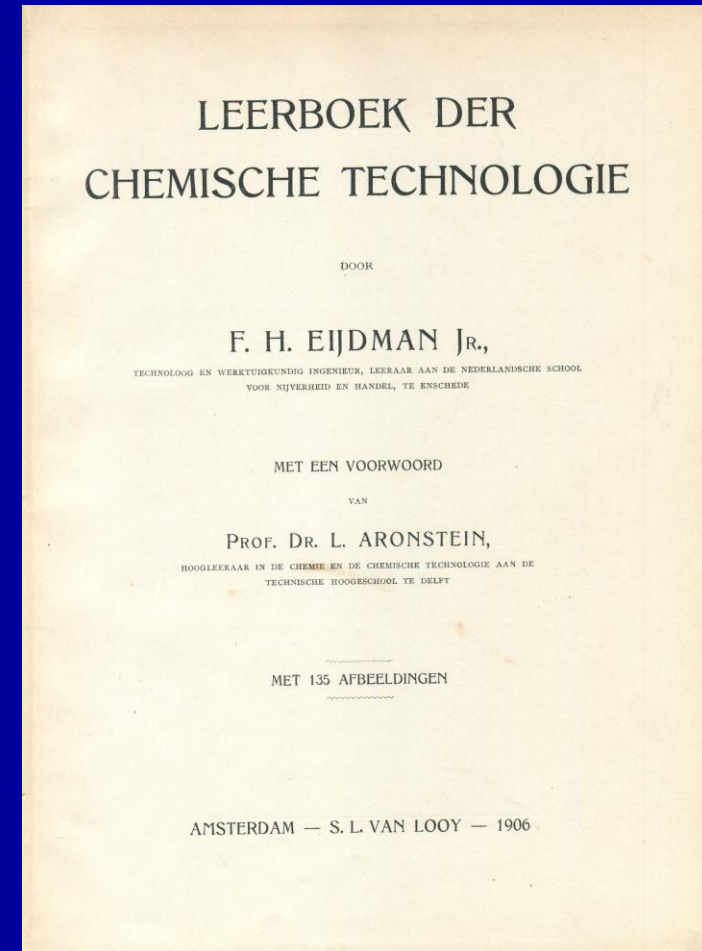
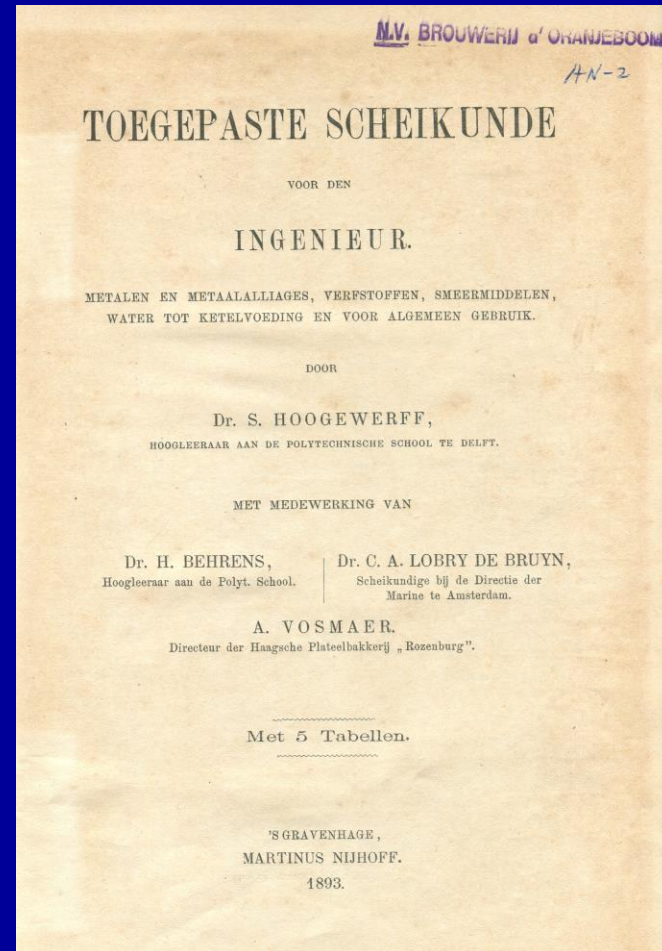


(3) Onderwijs in de technische chemie en chemische technologie ca. 1800-1920

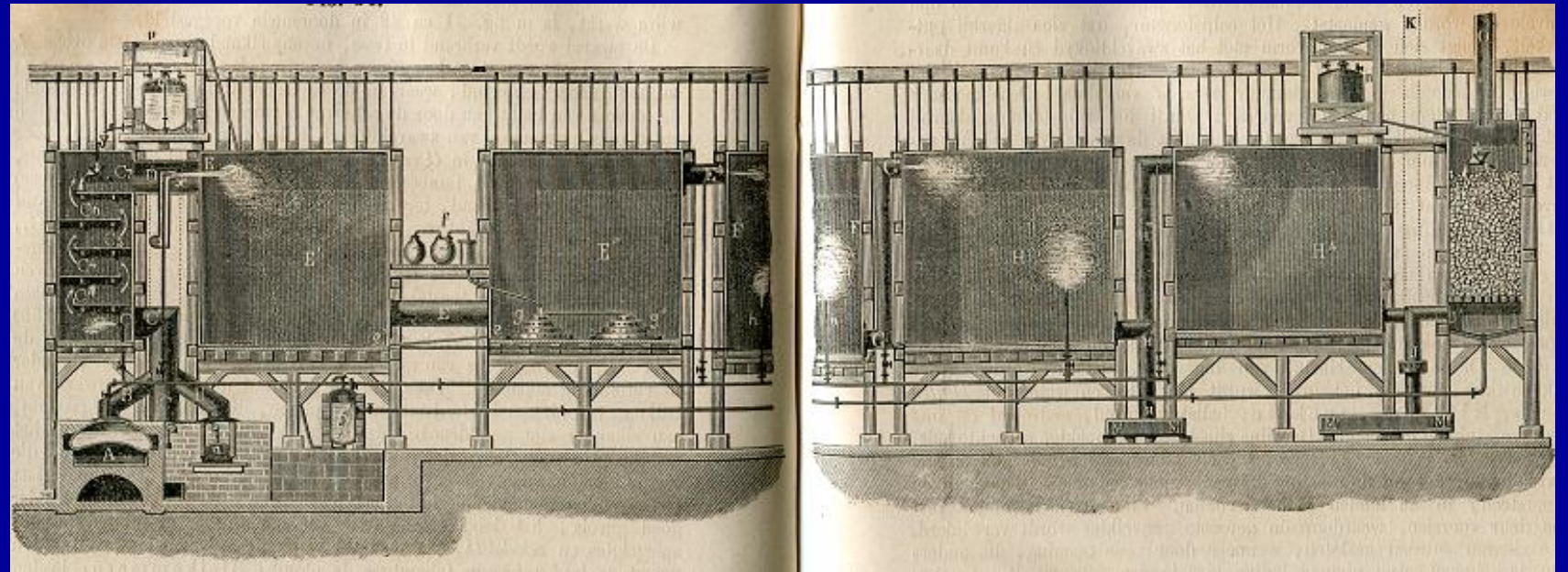
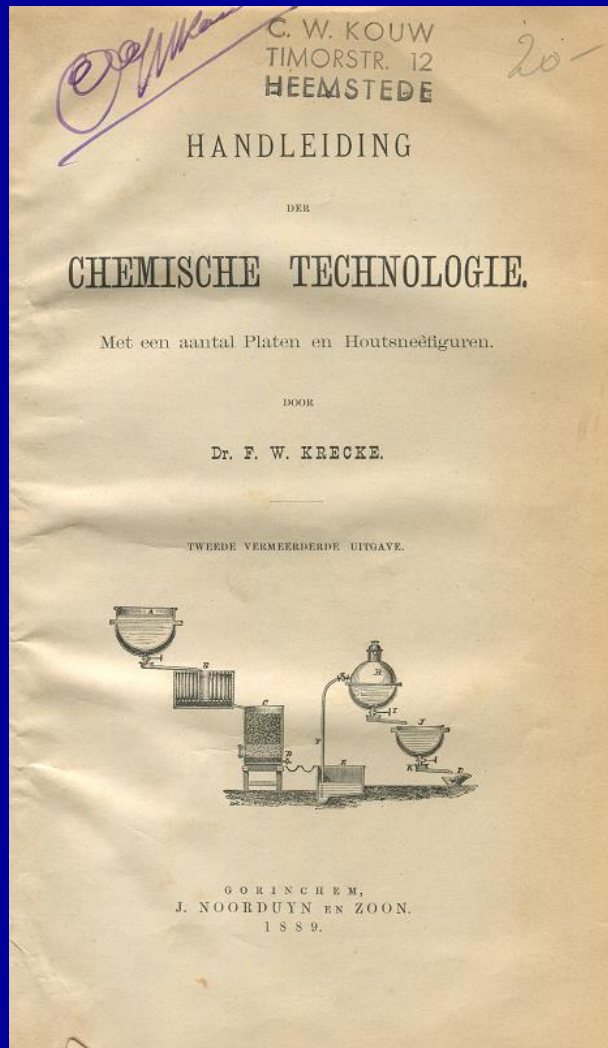


Ook Nederlandse leerboeken

- **Technische chemie**: veelal de naam voor chemische leerboeken op (poly)technische scholen
- **Chemische technologie** veelal in de beschrijvende traditie van Beckmann's Technologie als vak op de universiteiten (voor a.s. chemici, maar ook voor juristen, economen, etc.) + ook HBS
- Maar termen ook door elkaar gebruikt.
- **Toegepaste chemie**: voor agronomen, farmaceuten, maar ook voor civiel ingenieurs e.d.



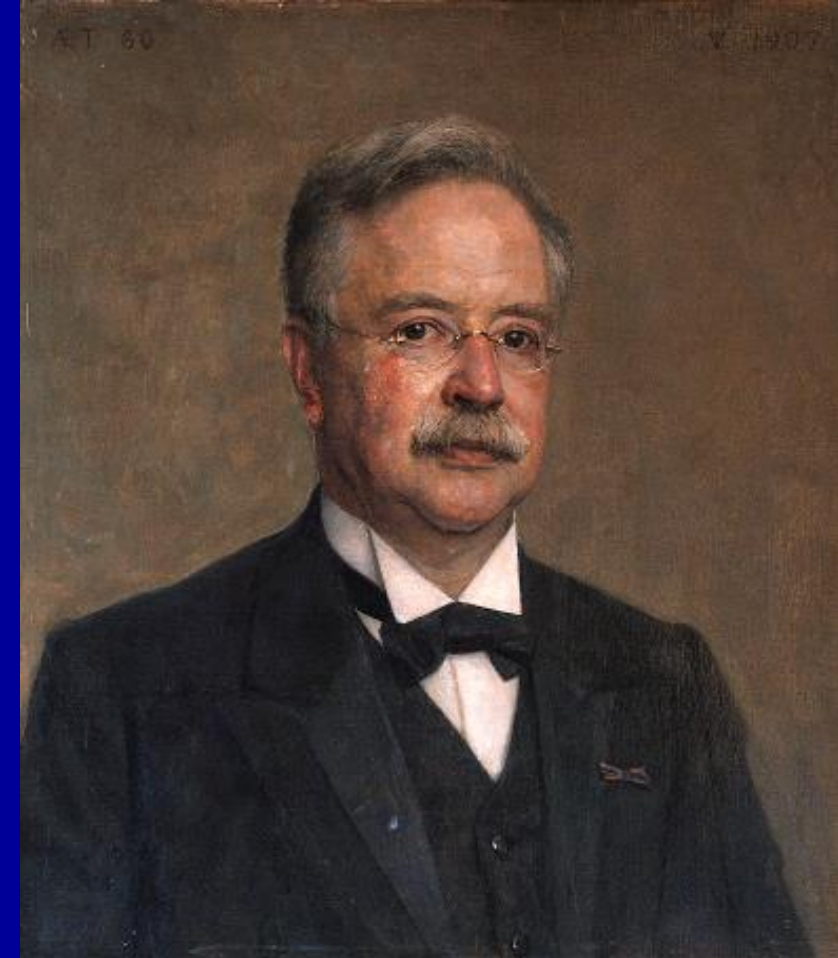
Chemische technologie was ca. 1850-1920: een soort (beschrijvende) encyclopedie van de chemische industrie



- zwavelzuurfabriek: geschakelde loden kamers

(4) Ontstaan van subdisciplines en de opbouw van het boek; universiteiten en industrie

- Begin 20^{ste} eeuw, **twee tekstboektradities**: beschrijvende chemische technologie, en boeken over chemische apparaten, maar geen onderzoekgebied aan de universiteiten
- Wel ontwikkelingswerk (R&D) in de **chemische en machine-industrie**, maar naar de chemische technologische inhoud is nauwelijks onderzoek gedaan.
- Daarom in boek **focus op universiteiten**: leerstoelen, leeropdrachten, onderzoek (+ Shell, DSM, e.d.)
- Delft ca. 1895-1905: **Hoogewerff** (scheikunde etc.; later organische scheikunde en **organische scheikundige technologie**); **Aronstein** (scheikundige technologie; algemene en fysische scheikunde en **anorganische scheikundige technologie**); **Levoir**, 1864 assistent scheikundige technologie
- **Steger was 1912-1918 de eerste 'echte' prof chemische technologie in Delft: 1916-1917 laboratorium ! (apparaten)**



Ontstaan van subdisciplines (1) (leerstoelen) [Hoofdstuk]

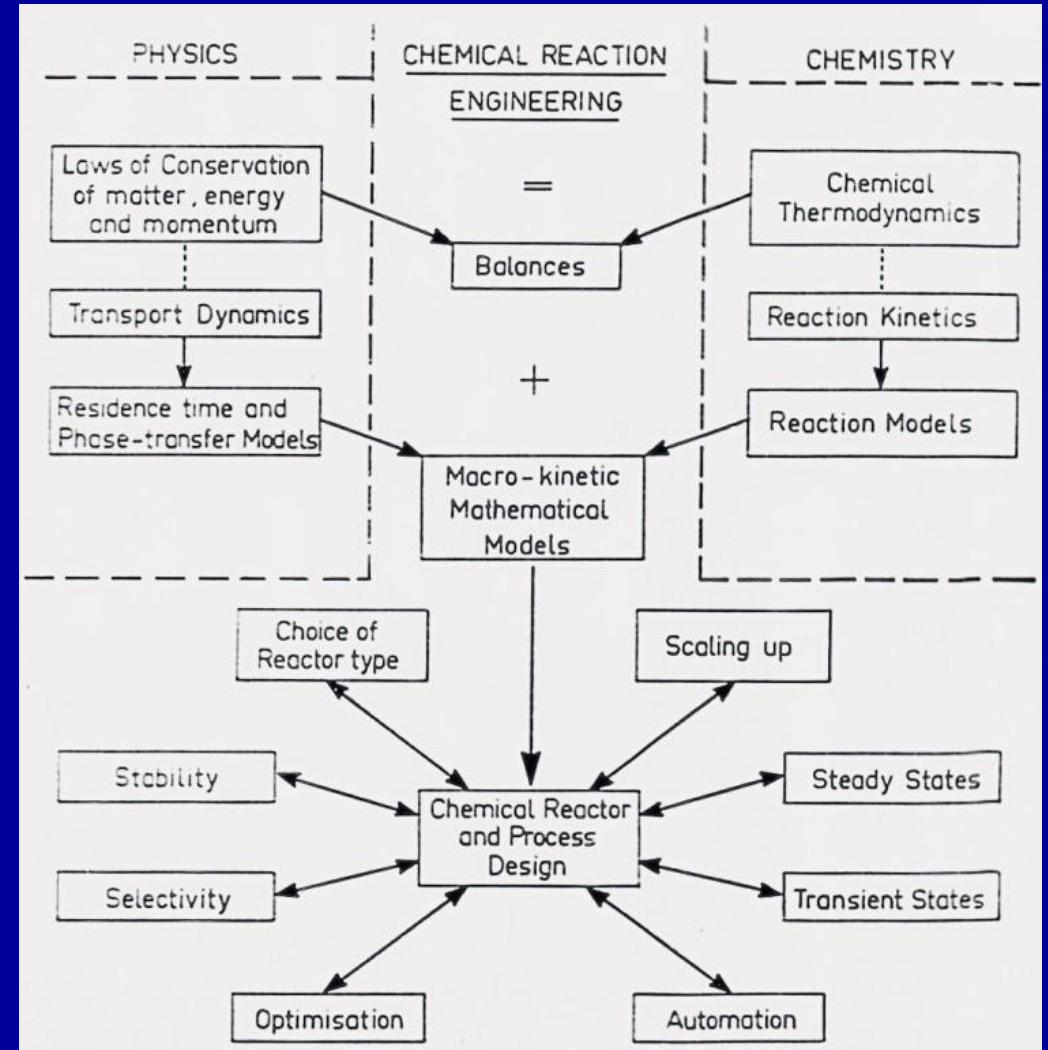
jaar	(sub)discipline / specialisme	universiteit
1864	Chemische technologie [Hfst2] [CHEM]	D; E; G; A; T; N; L
1907	Elektrochemie [Hfst10]	A; E; D; U
1936	Fysische technology (chemical engineering) [Hfst3] [FYS]	D; E; G; T; A
1937	Chemische apparaten [Hfst4] [WERKTUIGBOUW]	D; E; T; G
1939 (1928)	Polymeren ; macromoleculen; rubber [Hfst7] (organische chemie; fysische chemie)	D; E; G; T; A; U
1951	Proces controle; proces dynamica [Hfst4]	D; E; G; T; W
1960	Procestechnologie (chemie + fysica)	D; T; W; A; E
1962	Levensmiddelentechnologie	W; D
1963 (1930)	Katalyse [Hfst6] (organische+ fysische + anorganische chemie; chem. technologie)	L; D; E; U; A; T; G
1969	Fabrieksontwerp; procesontwerp	D; T; G; W; E

Ontstaan van subdisciplines (2) (leerstoelen) [Hoofdstuk]

jaar	(sub)discipline / specialisme	universiteit
1971 (1930s)	Transport verschijnselen [Hfst5] (fysische technologie; toegepaste fysica)	T; D; E; G
1979 (1920)	Toegepaste thermodynamica/ fasenleer (anorganische en fysische chemie)	D
1984 (1905)	Biotechnologie [Hdst9] (toegepaste microbiologie; biochemie)	D; E; W; A; G; L; U
1987	Milieutechnologie [Hfst10]	D; E; W
1988 (1936)	Scheidingsmethoden (incl. membranen) [Hfst10] (fysische technologie; chemische technologie; algemene chemie)	E; T; D; G; W
1989 (1950s)	Reactorkunde [Hfst5; Hfst8] (fysische technologie; chemische technologie)	A; D; T; E
1989	Proces ontwikkeling	W; T; E; G
1997	Duurzame chemische technologie/ kringlopen [Hfst10]	D; T; A; W; G; L; U
2000	Biomassaconversie en bio-raffinage [Hfst10]	T; E; W; D
2001	Producttechnologie	W; G; D

Trends: groeiende interdisciplinariteit+ praktijkgerichtheid

- **(1) start in bestaande disciplines**
 - Chemie: chemische technologie
 - Fysica: fysische technologie
 - Werktuigbouwkunde: chemische werktuigen
 - Biologie: microbiologie
- **(2) 1st fase hybridisering**
 - Polymeer-wetenschap en -technologie
 - Procestechnologie
 - Katalyse
 - Biotechnologie
 - Reactorkunde
- **(3) 2nd fase hybridisering**
 - katalyses + reactorkunde
 - Biocatalyse
 - Membraanreactoren
 - Productgericht procesontwerp, etc., etc.



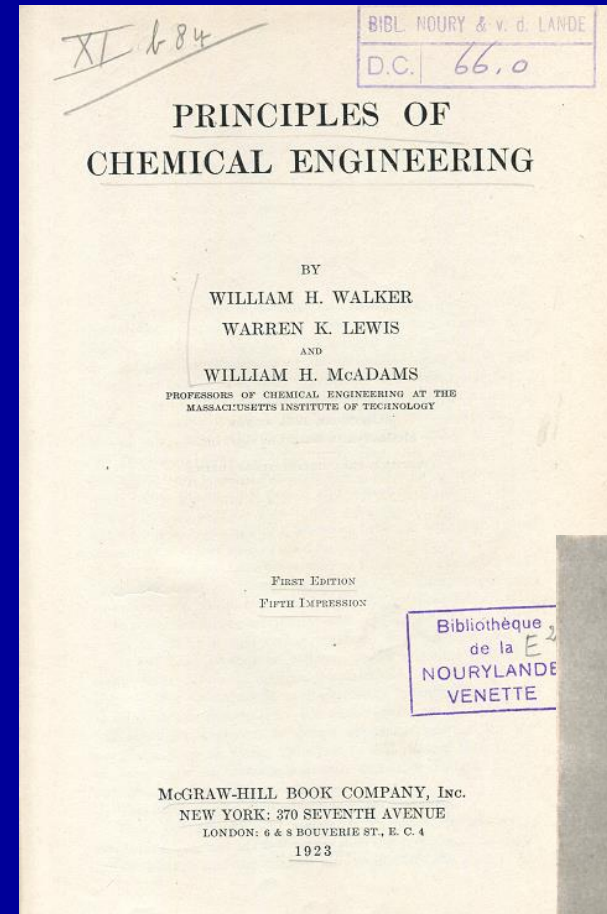
(5) Kort overzicht hoofdstukken 2 t/m 9 – Hoofdstuk 2: Chemische technologie: De wegbereiders

- **Hein Waterman**: ‘founding father’ van de procestechnologie in NL. Professor Delft 1919-1959;
- Introduceerde ‘chemical engineering’ uit de VS in Delft
- Adviseur van Shell: schreef 300 rapporten voor Shell, + vele publicaties;
- Moderniseerde de opleiding voor scheikundige ingenieurs in Delft door **introductie leerstoelen 1936-1939**:
 - Fysische technologie (Van Dijck)
 - Chemische apparaten (Van der Horst)
 - Eenheidsbewerkingen (Heertjes)
 - Eenheidsprocessen (Waterman; Boelhouwer)



Hoofdstuk 3: De Amerikaanse uitdaging: chemical engineering en unit operations

- 1915-1924 modernisering opleidingen chemical engineering in VS (MIT, etc.); unit operations
- Nauwkeurig, kwantitatief onderzoek van eenheidsbewerkingen (destilleren, filtreren, kristalliseren, verdampen, etc.) in laboratoria.
- Modellen en tabellen (Perry !) als basis voor procesontwerp en fabrieksbouw.
- Breuk met descriptieve traditie.
- Unit operations in veel fabrieken.



Hoofdstuk 4: Fabrieken, apparaten en regelaars

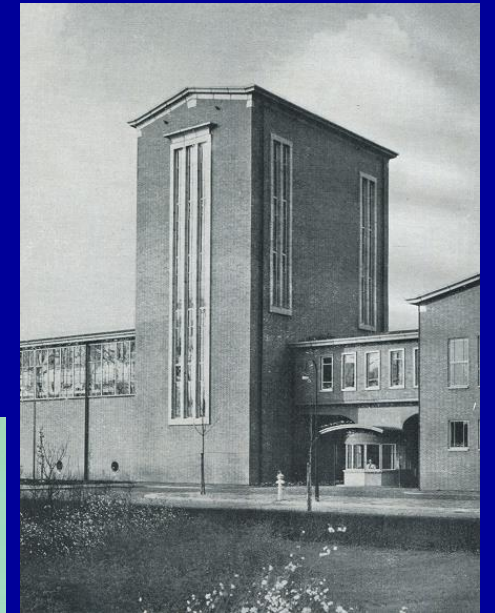
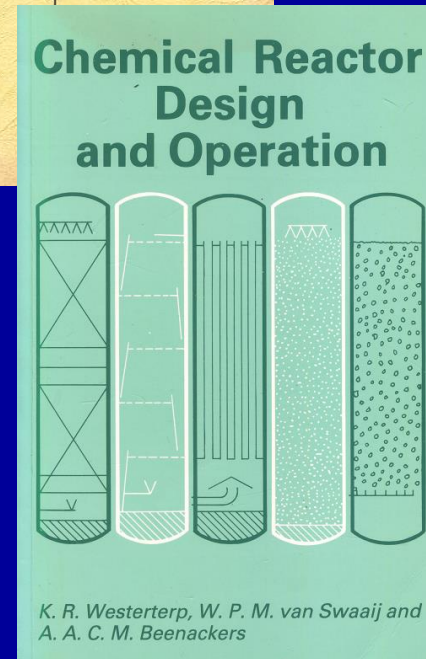
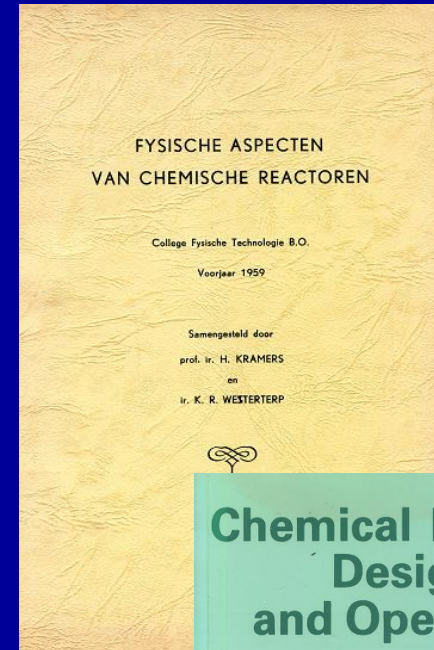
- Leerstoelen chemische werktuigen in Delft, Eindhoven en Twente
- Rol (veelal Amerikaanse) engineering contractors bij expansie chemische industrie na WO II.
- Pogingen een Nederlandse industrie van apparaten voor de procesindustrie van de grond te krijgen.
- Opkomst meet- en regeltechniek (kerncentrales; procesindustrie; etc.)



Hoofdstuk 5: Een tweede wetenschappelijke verdiepingsslag

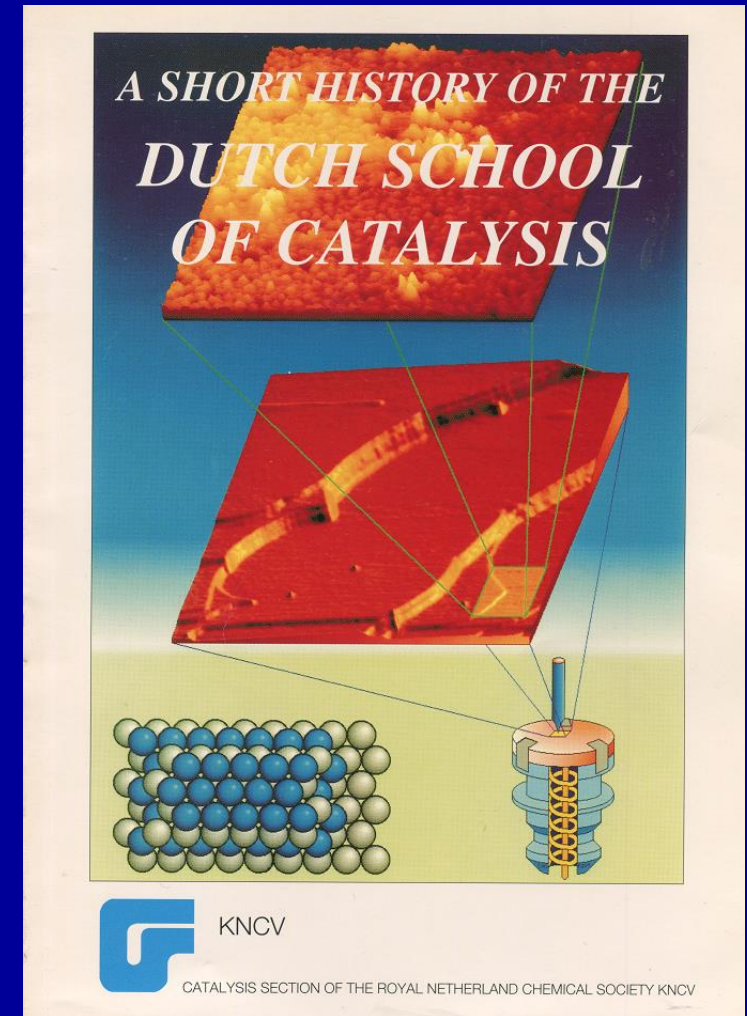
- Kramers en Van Krevelen als grondleggers van de studie van transport- verschijnselen (massa; impuls; energie)
- EN van de reactorkunde
- Kramers (TUD): fysische aspecten;
- Van Krevelen (DSM): chemische aspecten

- Transportverschijnselen: Klinkenberg en Mooy (Shell) 1943 > Kramers + Van Krevelen > Byron Bird
- Reactorkunde: symposium Amsterdam 1957 > Kramers & Westerterp > 'Groene bijbel'



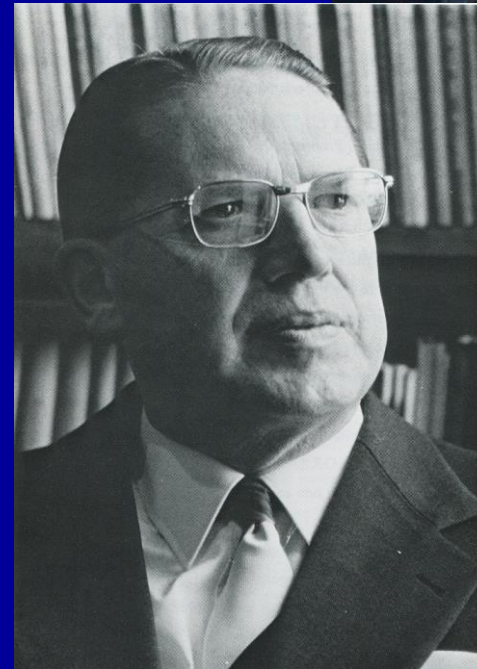
Hoofdstuk 6: Op het kruispunt van vele wegen: de katalyse

- Grondleggers van de 'Dutch School of Catalysis'
 - Jan de Boer: Philips (surface science) > Unilever > DSM + TU Delft
 - George Schuit: Shell > TU Eindhoven
 - Wolfgang Sachtler: Shell + Leiden University
- Nauwe samenwerking tussen industrie en de universiteiten 1950s-1960s + fundamenteel onderzoek in de industrie
- Later toenemende integratie met reactorkunde, o.a. bij Shell en in Delft (Sie; Kapteijn; Moulijn; Van de Bleek)



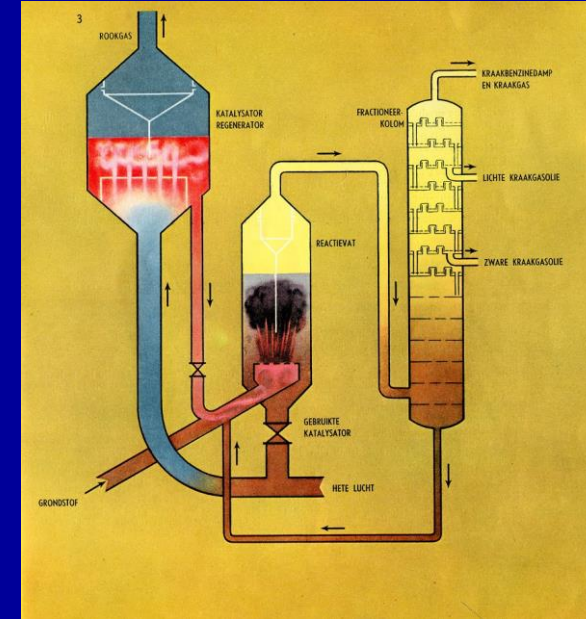
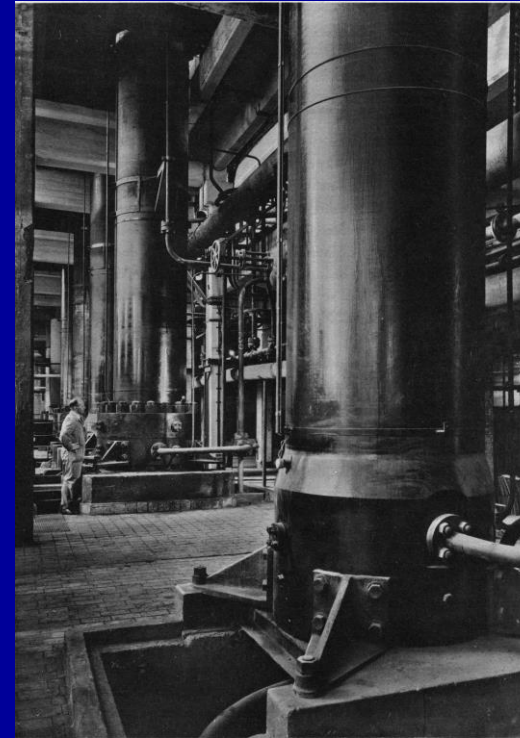
Hoofdstuk 7: Polymeren: van bulk naar maatwerk

- 1970-1980 waren polymeren ca. de helft van de hele bulkchemie
- Veel literatuur over geschiedenis polymeren, maar weinig over de procestechnologie ervan (o.a. reologie)
- AKU/ Akzo belangrijke pionier (Enkalon en andere kunstvezels), naast Shell , DSM, en later Dow en Dupont.
- Van Krevelen van DSM naar Akzo.
- Later: hoogwaardige, specifieke polymeren (Dyneema; Twaron; geleidende polymeren e.d.)
- Afval & recycling.



Hoofdstuk 8: Reactorkunde: meer dan de reactor alleen

- Reactorkunde: koppeling van chemische kinetiek (en katalyse), transportverschijnselen, en kennis van chemische apparaten
- Basis in jaren 30 en 40 in Duitsland en VS, maar integratie D-VS in jaren 50 o.a. door Kramers en Van Krevelen. (Hfst 5)
- Nauwe samenwerking Shell, DSM en Delft.
- Enorme groei vakgebied in jaren 60 en 70: Van Swaaij, Beenackers, Westerterp, etc.
- Afzwakking na oliecrisis. Specialisatie in tal van richtingen: biotechnologie, polymeren, halfgeleiders.
- Integratie met katalyse, stromingsleer en scheidingstechnologie. Procesintensificatie.



Hoofdstuk 9: Biotechnologie: beloftevol en 'groen'

- Belangrijke basis in Delft: Van Marken, Beijerinck, Kluyver. Nauwe samenwerking TH Delft en de Gist- en Spiritusfabriek: toegepaste microbiologie.
- In jaren 70 nam Gist(-Brocades) ook het voortouw bij de biotechnologie: integratie van microbiologie en reactorkunde. Naast Wageningen en rec-DNA in Leiden.
- Sterke groei na 1980. Ook door de belofte van duurzaamheid en milieuvriendelijkheid (o.a. waterzuivering)



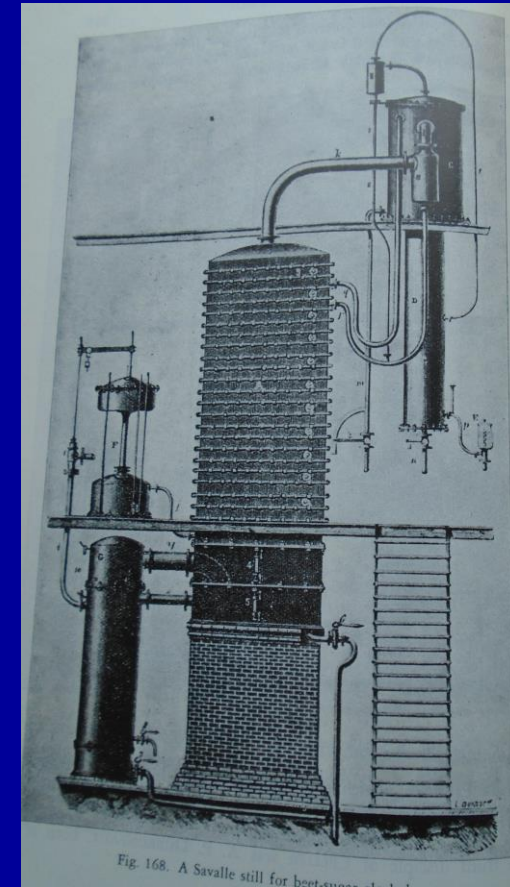
(6) De algemene ontwikkeling in 5 fasen: 4 revoluties

Revolutie 1:

Van descriptieve chemische technologie van afzonderlijke bedrijfstakken (bv. soda, zwavelzuur, loodwit)

>naar>

Unit operations. Classification van bewerkingen die in verschillende bedrijven voorkomen (bv. destillatie) + kwantitatief onderzoek van die bewerkingen (1920-1940).



De algemene ontwikkeling: Revolutie 2

Van unit operations (destillatie, filtreren, etc.)

>naar>

Transport van massa, impuls, energie in verschillende unit operations. (1950s)

EN

Van unit processes (nitration; hydrogenation; etc.)

>naar>

Reactorkunde. (1950s)

- >> beide vormden de basis voor de schaalvergroting in de 1960s.



De algemene ontwikkeling: Revolutie 3

1732: 9 ton/jaar, met 6 fornuizen

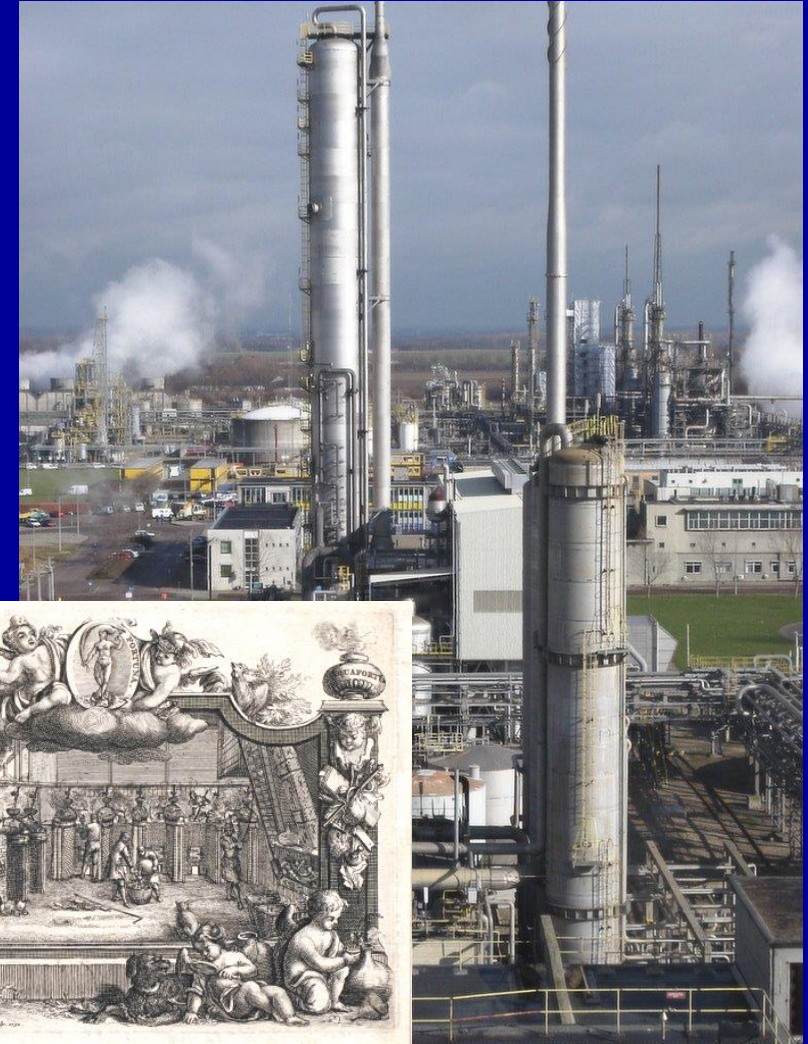
2000: 110.000 ton N/jaar, 1 fabr. (SZF5 – DSM)

Oliecrisis en **grenzen aan de groei** (Club van Rome)

Minder groei.

Maar betere **computers** en beter instrumentatie.

Studie technische processen op **moleculaire schaal**. (1970-1990)



Salpeterzuur 2000 vs. 1732

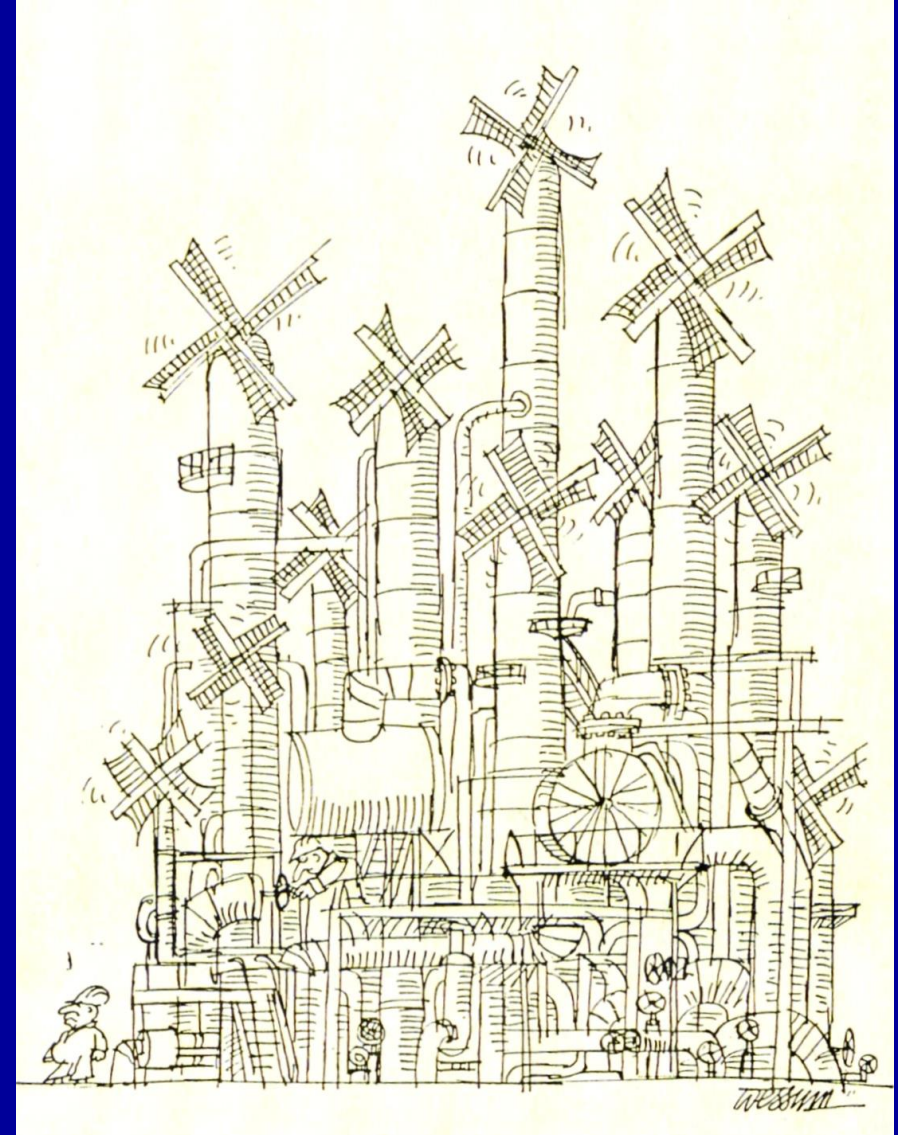
De algemene ontwikkeling: Revolutie 4

Brundtland rapport (1987): van stagnatie naar verantwoorde groei

Nadruk op duurzaamheid

Sluiten van kringlopen

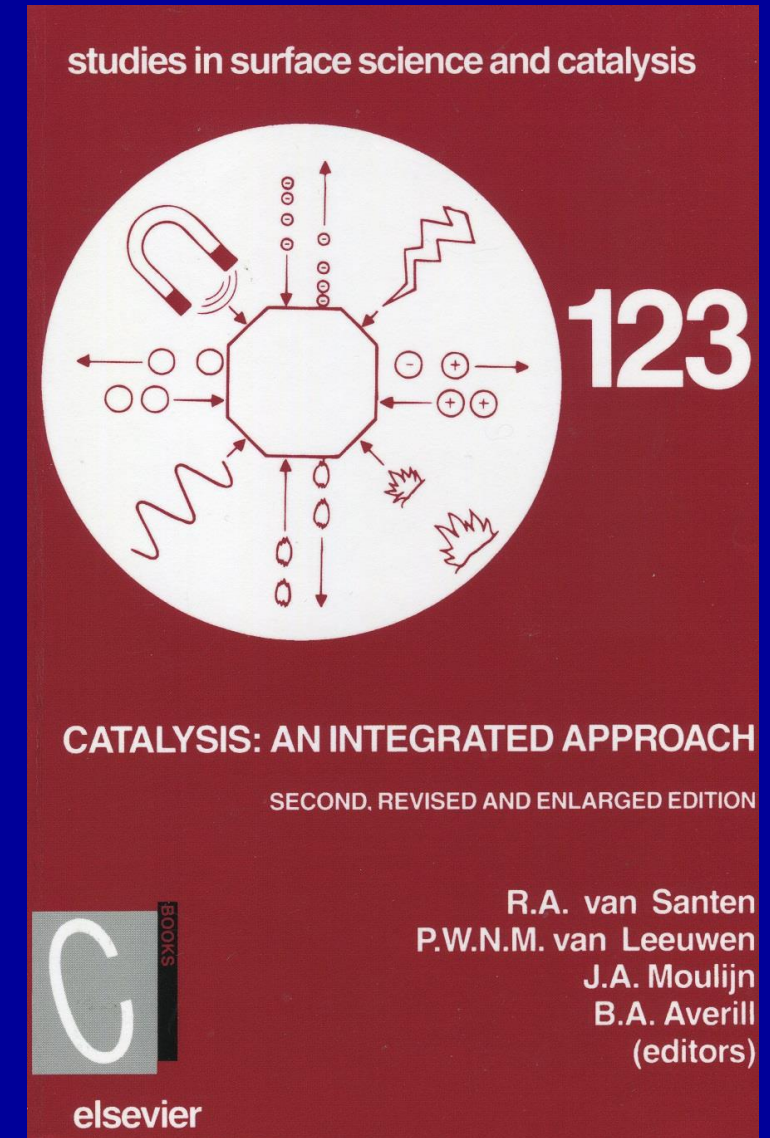
Opkomst Groene Chemie (1990s)



Fase 5: de jaren 1990, een keerpunt (1)

Grote veranderingen in subdisciplines. Katalyse, reactoren hebben de wind in de rug:

- **Katalyse:** (1) integrale benadering van homogene, heterogene, industriële en bio-katalyse; (2) katalyse sleutel tot duurzame chemie – het wordt een centrale discipline; (3) integratie met reactorkunde en biotechnologie.
- **Reactorkunde:** (1) verbindt zich met biotechnologie, polymeertechnologie en halfgeleiders; (2) integratie met vloeistofdynamica, scheidingstechnologie en katalyse; (3) milieuproblemen: proces intensivering en biomassa verwerking etc.

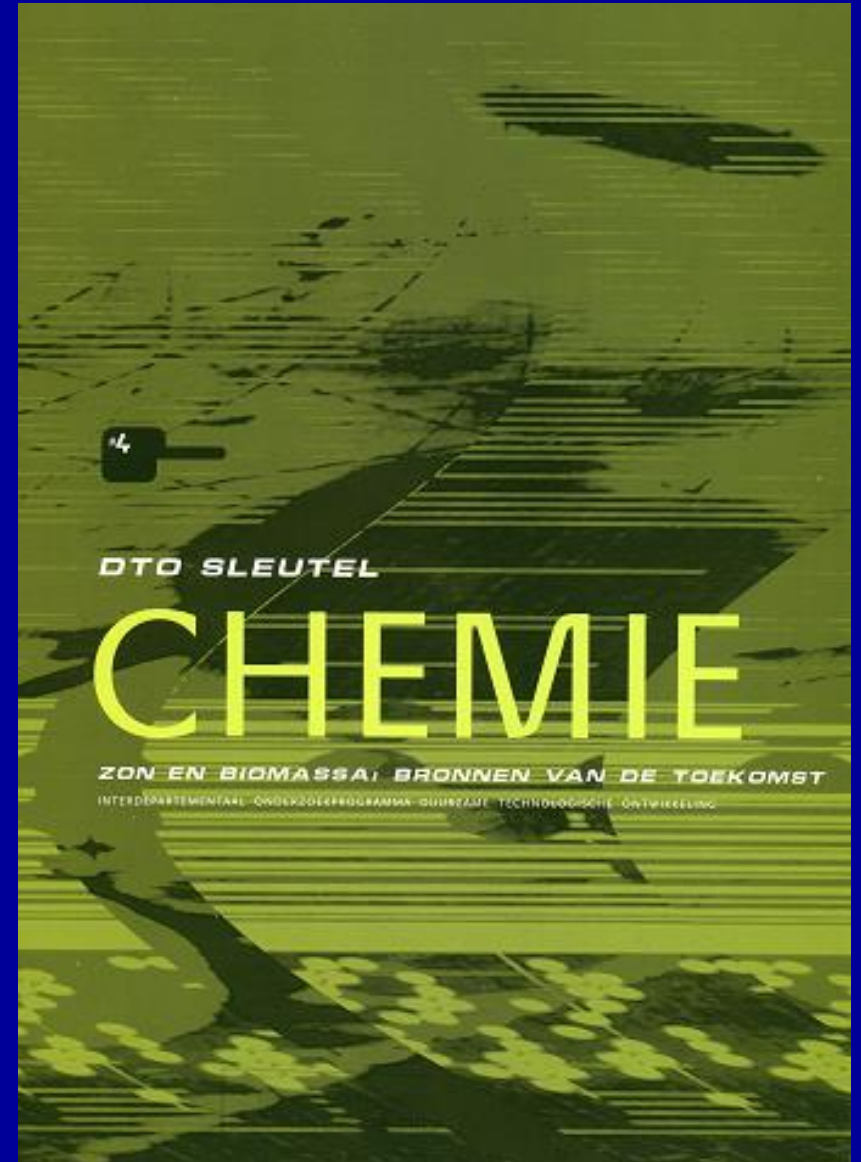


Fase 5: de jaren 1990, een keerpunt (2)

Grote veranderingen in subdisciplines.

Biotechnologie heeft wind in de rug; polymeren is de verdediging:

- **Polymeren:** (1) supramoleculaire systemen, membranen, micellen, moleculaire ensembles; (2) recycling/ kringlopen; (3) ontwerp van nieuwe polymeren die hergebruikt kunnen worden.
- **Biotechnologie:** (1) belofte van een 'groene' technologie; (2) groeiende integratie met chemische technologie en product technologie.

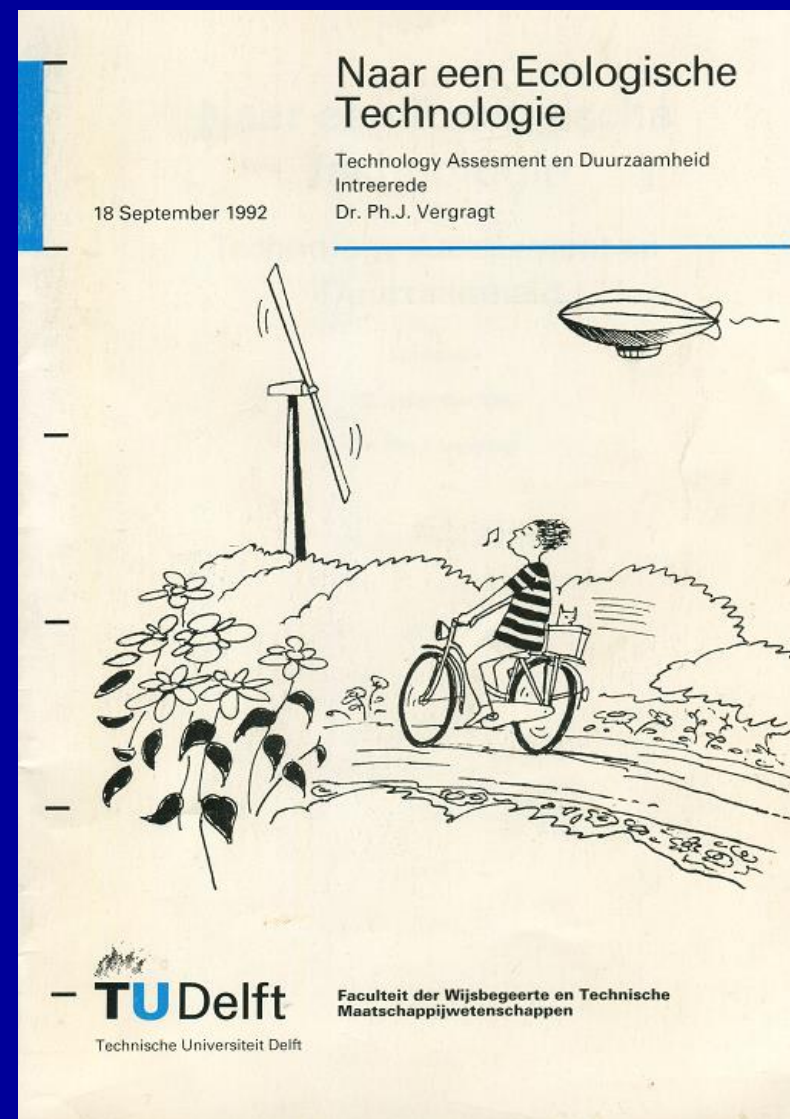


(7) Uitdagingen voor de toekomst

(Mijn) drie olifanten in de kamer:

- (1) te veel aandacht voor CO₂: vergeet de andere emissies niet, en denk ook aan de volledige levenscyclusanalyse van alternatieven (zon, wind, kernenergie, H₂)
- (2) belang van biomassa wordt overschat. Een sprookje omarmd door de olie-industrie en de milieubeweging sinds de 1990s. Maar veel uitstoot van CO₂.
- (3) reduceert economisch groei in Westen.

>> groot belang (echt) schone technologieën



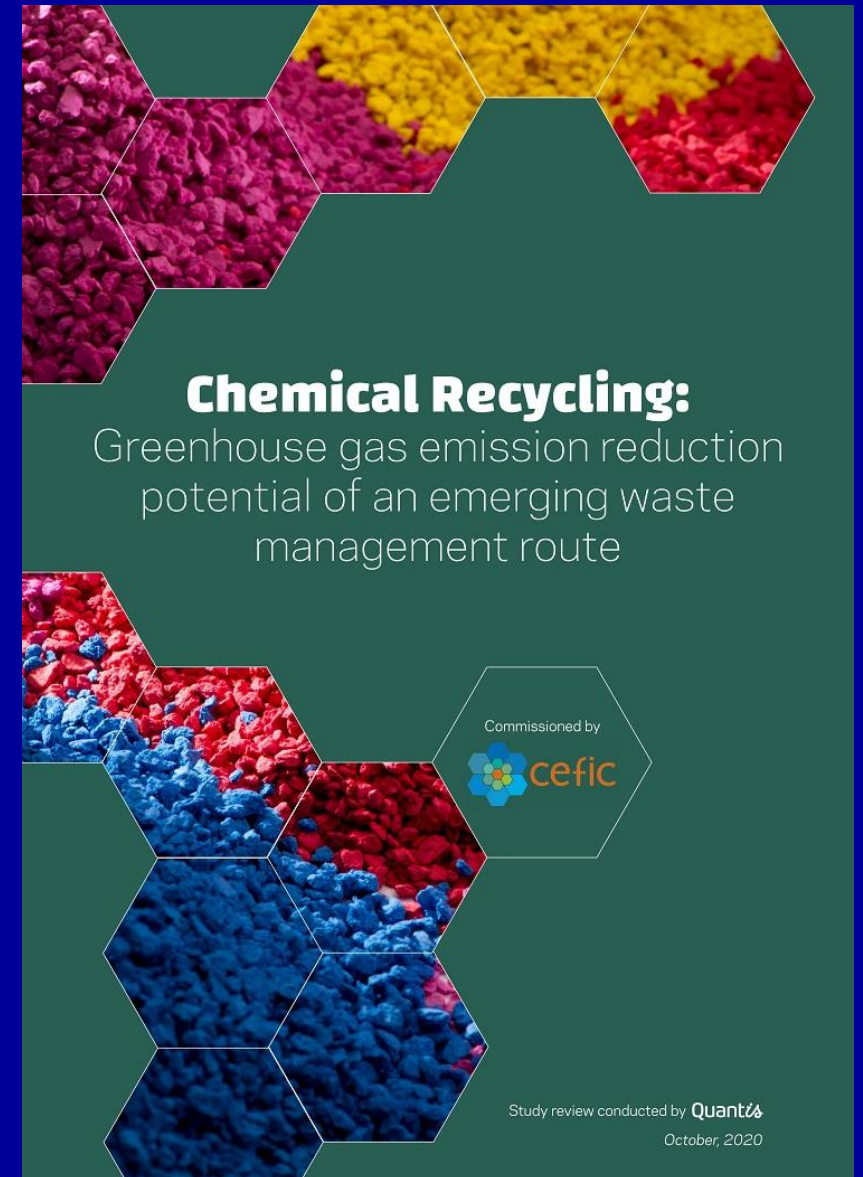
Twee – deels gekoppelde - transities nodig: energie en grondstoffen

- Zonne-energie
- Wind
- Kernenergie
- H₂ economie
- CCS (CO₂ afvangen en opslaan)
- Biomassa (??)



Technologieën voor grondstoffentransitie (1)

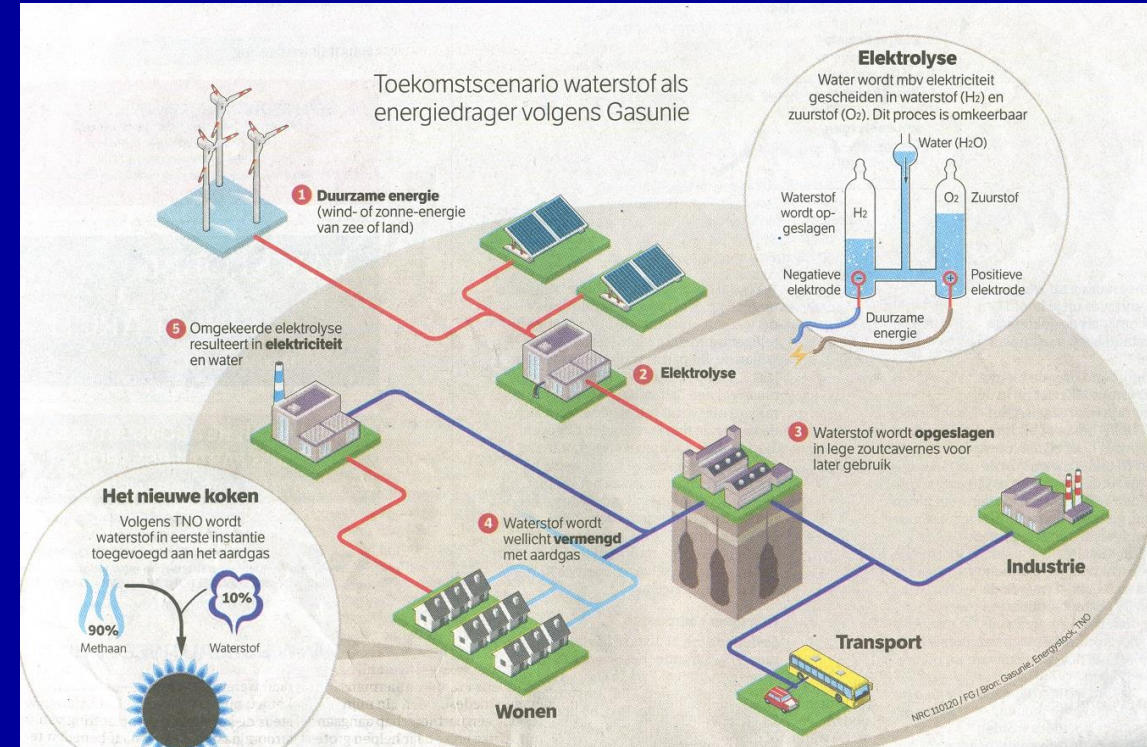
- **Reduceer fossiele feedstocks**
- Hogere opbrengst en meer selectieve processen (katalyse; biocatalyses)
- Procesintegratie en intensivering
- Recycling en hergebruik (plastics)
- Herontwerp van producten: cradle to cradle (plastics)



Technologieën voor grondstoffentransitie (2)

- **Alternatieven voor fossiele feedstocks**
 - Electrificatie (H₂ via electrolyse; electrochemische reductie van CO₂)
 - Bio-feedstocks (cascades; bio-raffinaderij: meer complexe bio-moleculen voor bioplastics)
 - CO₂ als grondstof (CCU; solar fuels; methanol; bio-catalytische synthese van melkzuur)

>> Maar de netcapaciteit !



Meer onderzoek nodig: uitdagingen voor de procestechnologie (+ enorme politiek-economische uitdagingen)

- Opslag van elektrische energie (batterijen etc.)
- Verbetering elektrische H₂ economie
- Proton-exchange membranen (PEM)
- Solid-oxide electrolysis (SOE)
- Meer flexibele electrochemische fabrieken
- H₂O₂ productie via elektrokatalyse
- Betere methoden voor chemische recycling
- Pyrolyse van (landbouw) restproducten
- Complexe inzet van bio-feedstocks en fotochemische processen
- Betere scheidingstechnologie/ membranen



Dank voor uw aandacht!

Met dank aan:

- Ton van Helvoort
- Eugène Kuijpers
- Peter Berben
- Freek Kapteijn
- Wim van Swaaij
- Ger Challa
- Jacob Moulijn
- Maureen Nikkessen
- Emmo Meijer, John Dejaeger, Gert Jan Kramer, Kitty Nijmeijer, Marco Waas
- Etc., etc., etc.

