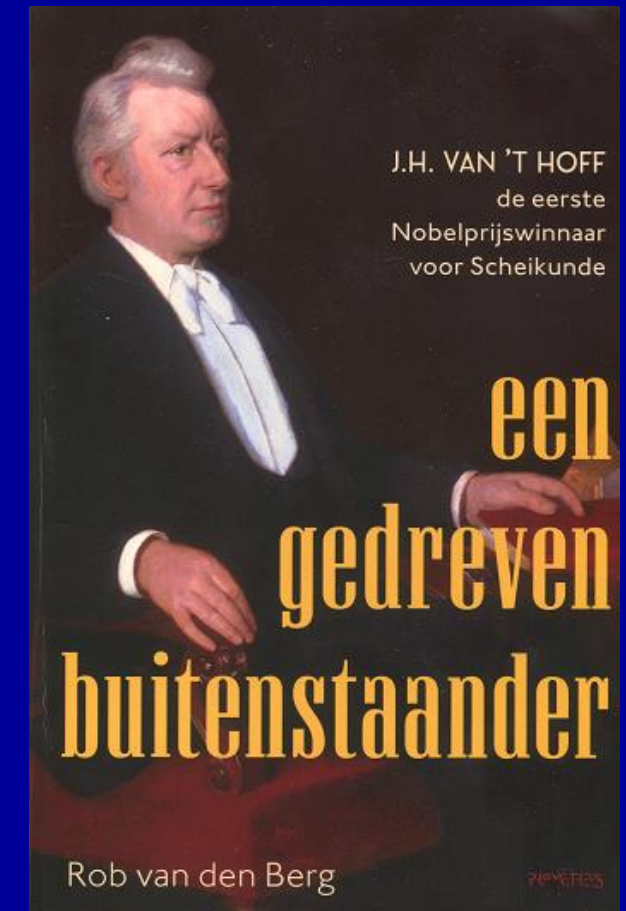
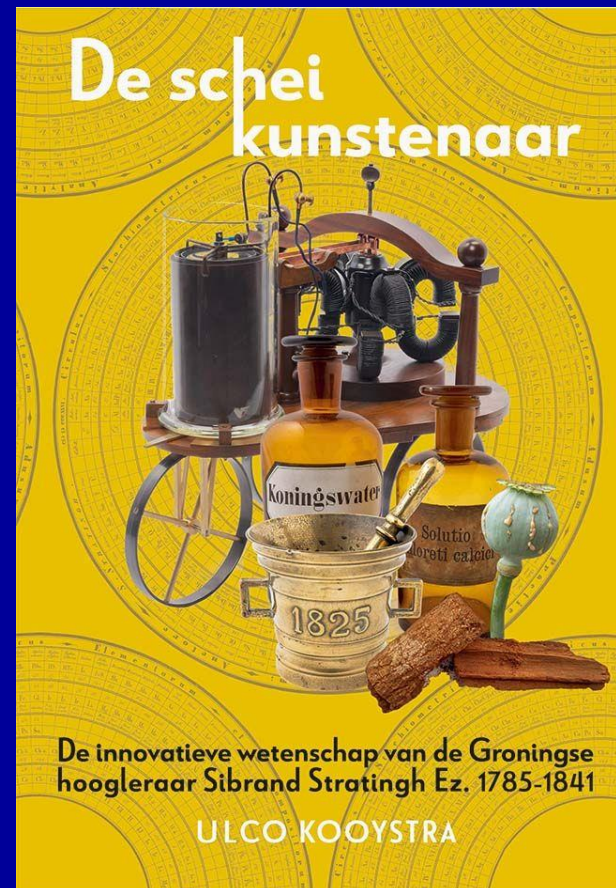
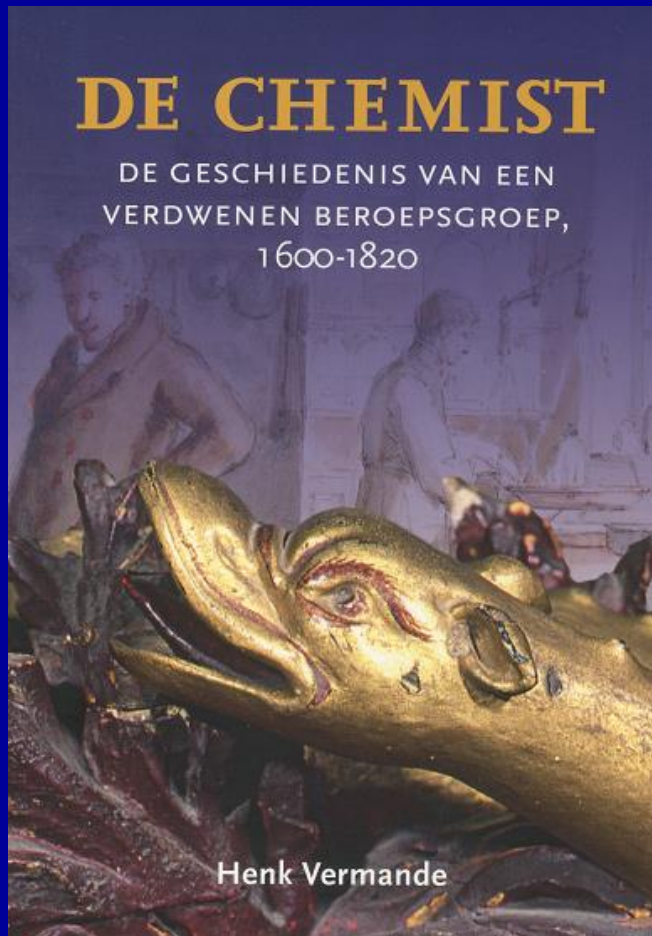


Grenzen aan de Chemie: Een historisch perspectief

Woudschoten, 3 november 2023

Ernst Homburg
Universiteit Maastricht

In 2021 verschenen drie prachtboeken. Ze dekken samen drie eeuwen Nederlandse chemie-geschiedenis (1600-1900)
Het vak bloeit meer dan ooit de laatste jaren.



Reflecteren op de grenzen van de scheikunde, vanuit de wetenschapsgeschiedenis

Wat is scheikunde? Vraag naar identiteit. Heeft alles te maken met grenzen.

Inhoud:

- 1. Verschuivende grenzen
- 2. Groei aan de grenzen
- 3. Zijn er grenzen?



1. Verschuivende grenzen

START: Oudste definities: scheiden en samenvoegen. Kunst. Geneesmiddelen.
Ook: principes/ hoofdstoffen. Kennis daarvan ook 'wetenschap' (vanaf 1660)

- De Chymie is een konst, die alle vermengde Lichamen losmaect, en die (...) wederom t'samen stremt en coaguleert, om hen zo te reduceren tot gezonde, veilige, en weldadige **medicamenten**. (1612)
- De Chymie, ofte Stofscheiding, is een konst, die de natuurlijke Lichamen ontdoet, en de ontdane weder stremt, om de **geneesmiddelen** aangenamer, gezonder en veiliger in te geven, (1680)
- De chemie is de kunst om gemengde, samengestelde, of geaggregeerde lichamen te ontleden in hun **principes (hoofdstoffen)**; en om zulke lichamen uit hun principes weer samen te stellen. (1720)

Maar ook:

- Chemistry is nothing else but the **Art and Knowledge** of Nature itself... by her means we examine the **Principles**, out of which natural bodies do consist (...) and by her are discovered unto us the causes and sources of their generations and corruptions. (1660)



Veranderingen chemie

- (A) vier stadia in de ontwikkeling van de chemie als discipline (1600-1900)
- (B) Veranderingen in de laboratoriumpraktijk
- (C) Veranderde definities en inhouden

Stadia/ veranderingen in inhoudelijke en disciplinaire grenzen (discipline = vakgebied/ wetenschapsgebied): paar historische excursies

(A) vier stadia in de ontwikkeling van de chemie als discipline (1600-1900).

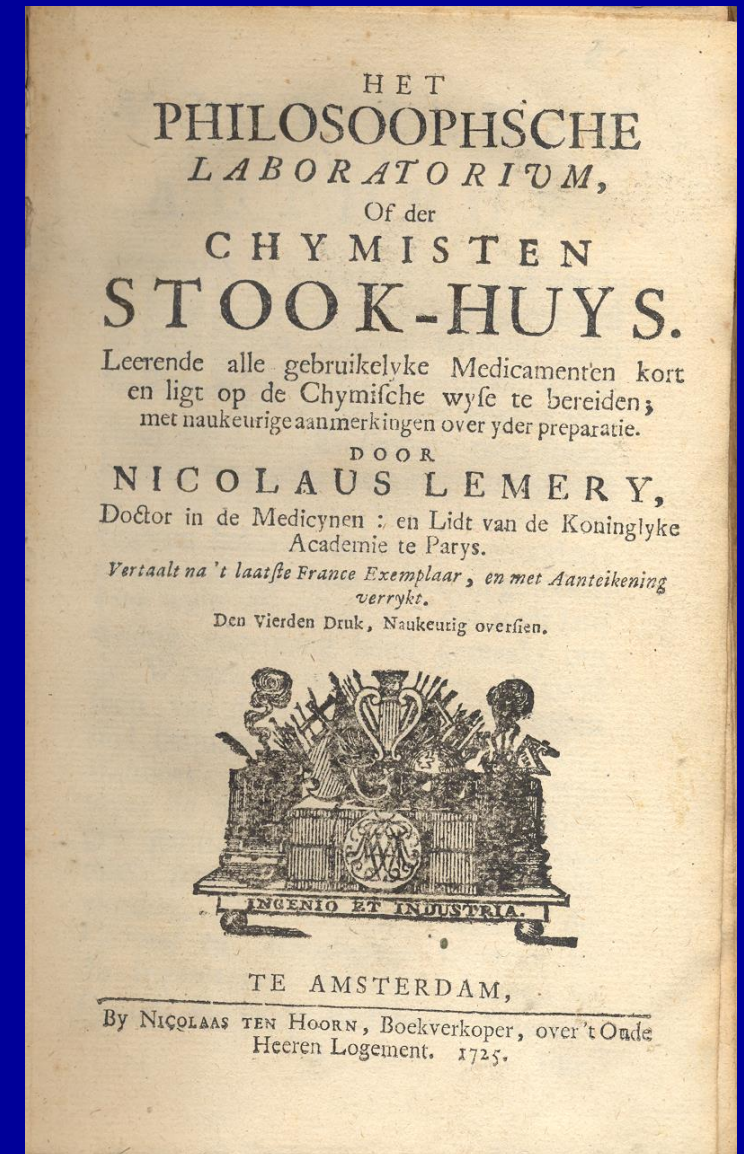
- 1. een vak dat gedoceerd wordt – leerboeken (ca. 1650)
- 2. een onderzoeksgebied – tijdschriften (ca. 1780-1830)
- 3. een beroep – diploma's (ca. 1850)
- 4. een professie, met 'disciplinaire' verenigingen (ca. 1870-1910)



Fase 1: leerboeken (1597-etc.)

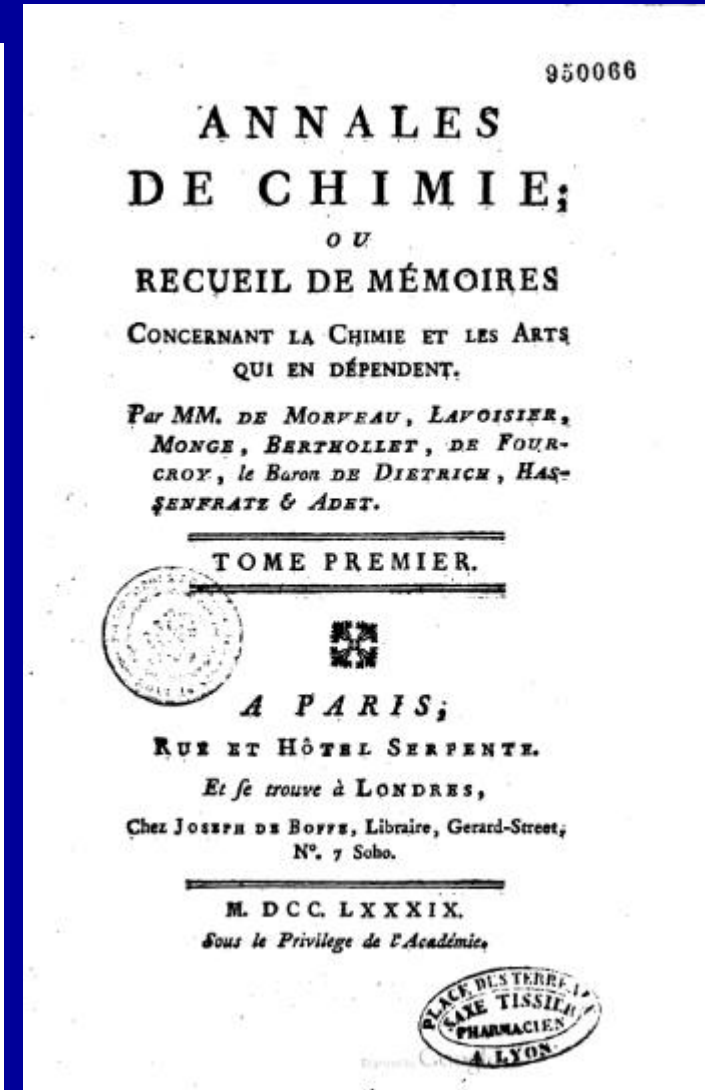
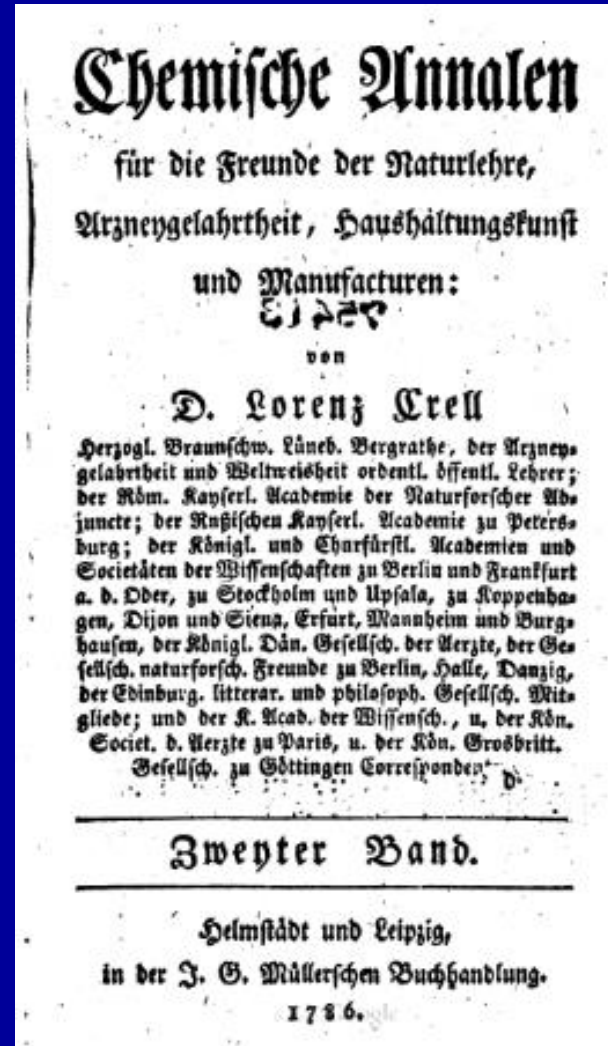
- Onderwijs aan de medische faculteiten, dus aan studenten geneeskunde; later ook aan apothekers
- Eerste leerstoel: 1609 in Duitsland
- Vanaf 1668 in Leiden
- Vanaf 1696 in Utrecht, etc.
- Vanaf ca. 1780 regulier onderwijs voor apothekers (eerder incidenteel)
- Pas vanaf 1863 op middelbare scholen

> Lange leerboektraditie vanaf 1597. Grote veranderingen daarin > vak verandert.



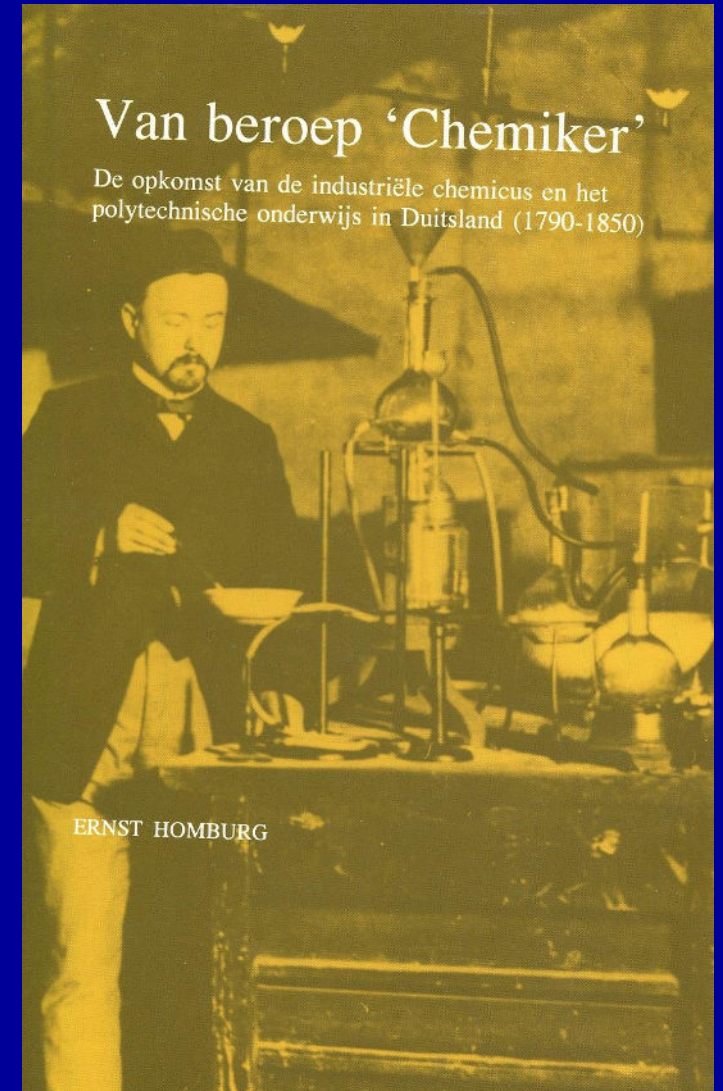
Fase 2: Researchgebied – met tijdschriften (1784-etc)

- In de loop van de 18^{de} eeuw steeds meer scheikundige onderzoeken (eerder ook wel)
- Eerst gepubliceerd in algemene tijdschriften zoals de *Philosophical Transaction* v/d RS
- 1784-1789 de eerste chemische tijdschriften in Duitsland en Frankrijk
- Publicaties door rijke 'liefhebbers'/amateurs, artsen, apothekers, etc.
- Er waren nauwelijks beroepschemici. Wél personen die chemische onderzoek deden.



Fase 3: Chemie als beroep (ca. 1850)

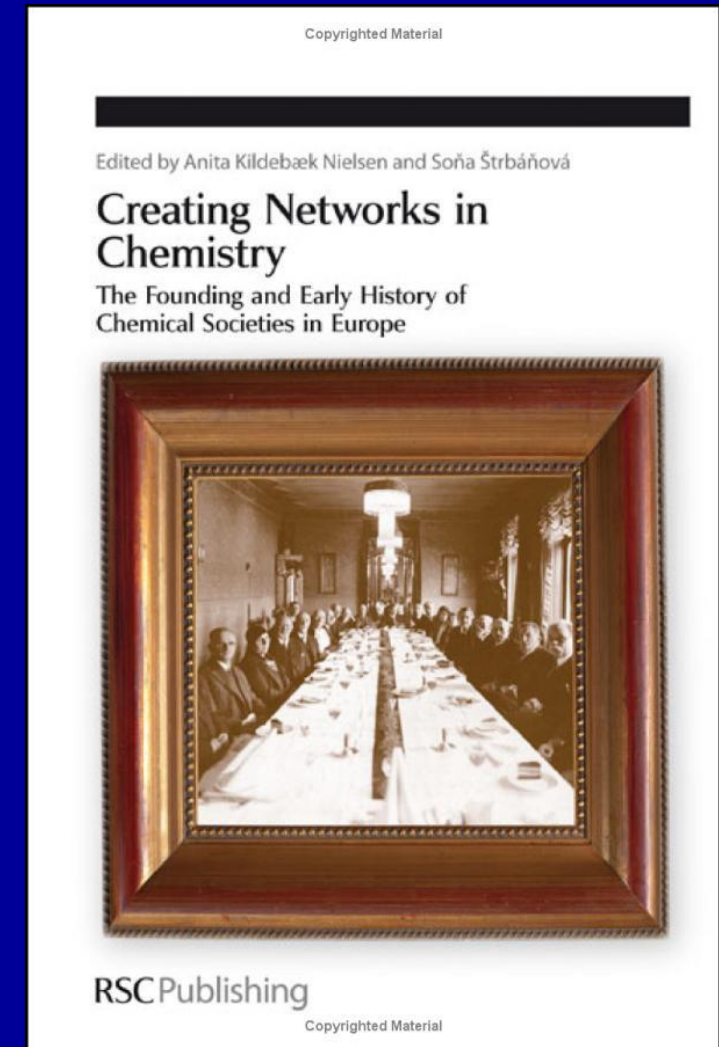
- Tot ca. 1840 werd scheikunde vrijwel uitsluitend aan medici en apothekers gedoceerd.
- Vanaf 1840 groei van aantal beroepschemici: leraren scheikunde op middelbare scholen; eigenaren van chemische fabrieken; chemici in fabrieken en landbouwproefstations etc.
- Omstreeks 1870/ 1880 hadden bijna alle universiteiten en technische hogescholen opleidingen voor chemici opgericht, hoewel in Delft pas ca. 1890.
- Aan de Nederlandse universiteiten waren er eerst maar heel weinig chemie-studenten, die bijna allemaal leraar werden.



Fase 4: Professionele verenigingen

- 1841-1867 oprichting eerste nationale wetenschappelijke chemische verenigingen in Groot-Brittannië, Frankrijk en Duitsland (KNCV 1903)
- 1877-1887 oprichting beroeps-/ belangenverenigingen voor chemici in Groot-Brittannië en Duitsland (KNCV 1903)
- Deze verenigingen hielpen – naast de tijdschriften – de wetenschappelijke en professionele standaarden te bewaken.

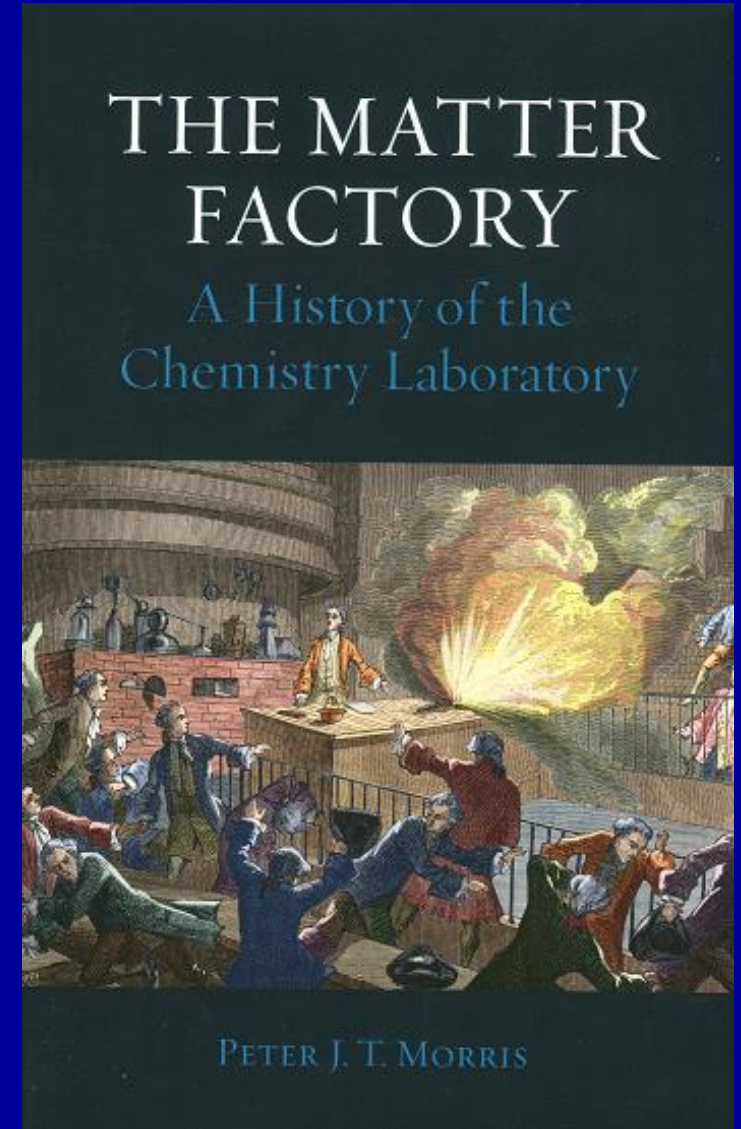
>> Conclusie: ca. 1870-1910 was de chemie een duidelijk herkenbare discipline met leerboeken, opleidingen, research tijdschriften en belangenbehartiging.



(B) Veranderingen in de laboratoriumpraktijk

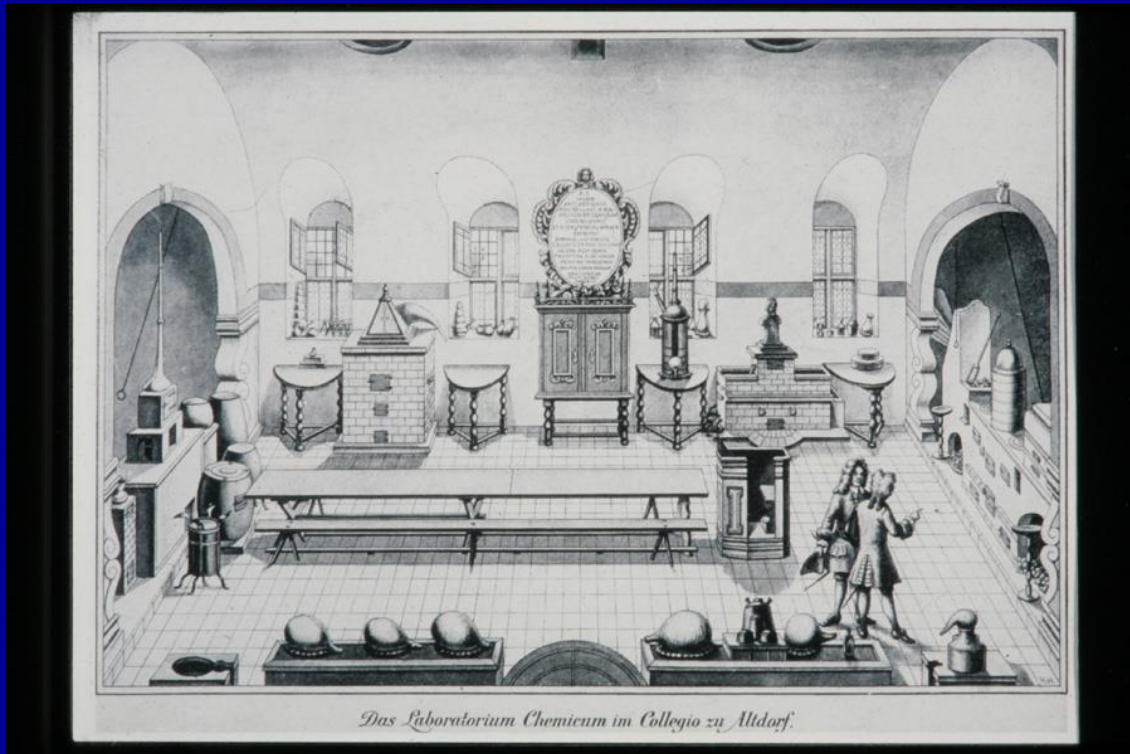
Zie Peter Morris, *The Matter Factory*. Ik focus op universitaire laboratoria

- (1) Werkplaatsen met ovens + demonstratielessen, ca. 1640-1770
- (2) Auditoria: integratie van collegezaal en laboratorium, ca. 1770-1840
- (3) Laboratoria met (staan)tafels etc. voor studenten, na ca. 1840

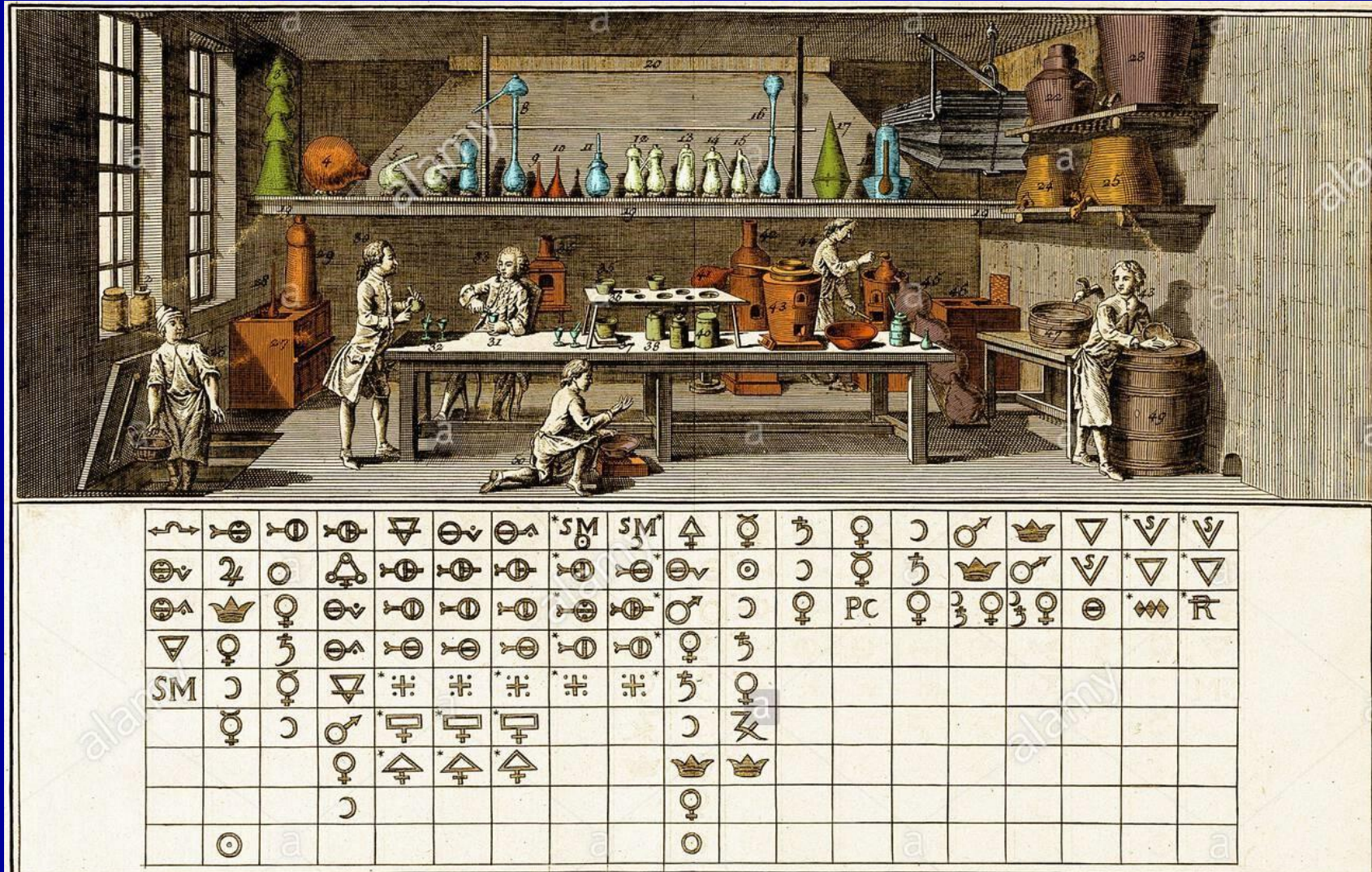


(1) Werkplaatsen met ovens + demonstratielessen, ca. 1640-1770
Chemie = vuur**kunst**. Ontleden en maken van preparaten in ovens
en op fornuizen. Destillatie etc.

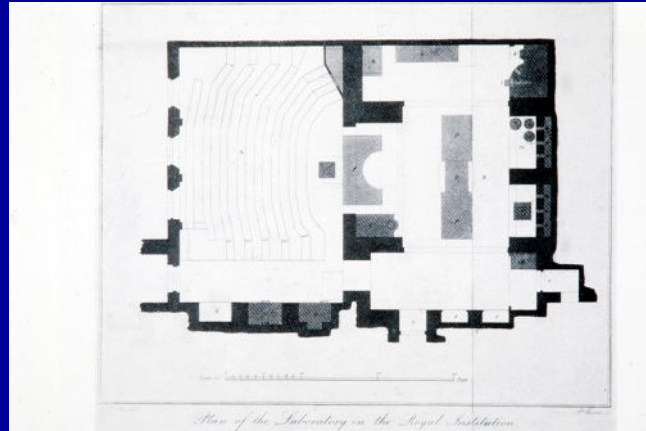
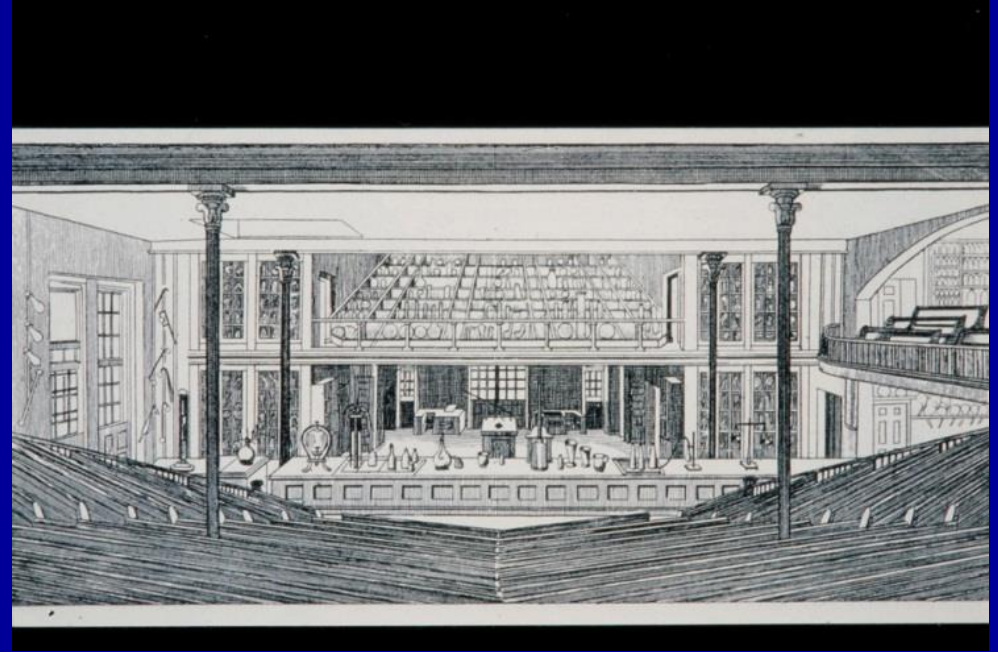
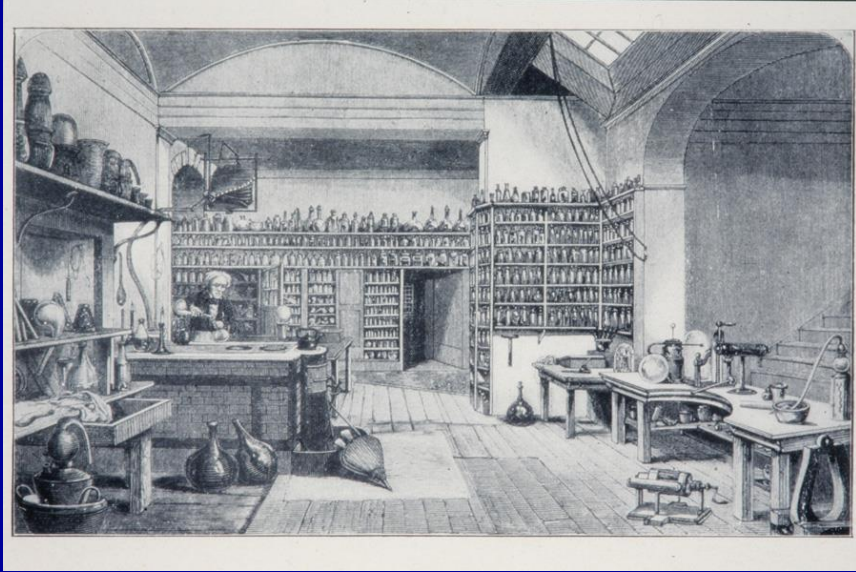
Afbeeldingen: twee universitaire labs in Duitsland 17^e eeuw



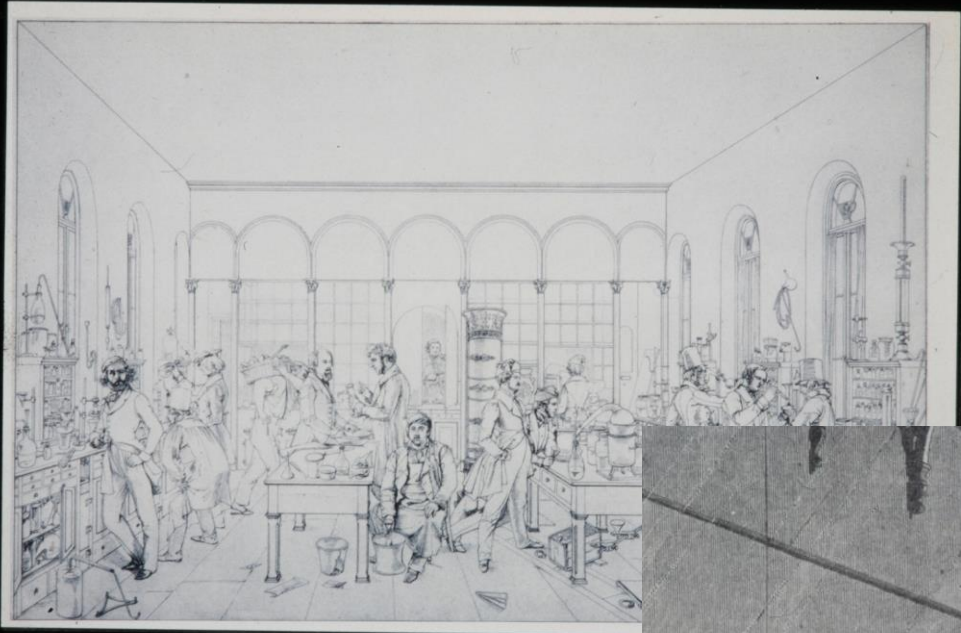
(1b) Ook start wetenschappelijk onderzoek in die laboratoria met ovens.
Daaronder: affiniteitentabel van Geoffroy.



(2) Auditoria: integratie van collegezaal en laboratorium, ca. 1770-1830.
Links en onder: Royal Institution (Faraday); rechts: collegezaal 1920s
Medical School Philadelphia.



(3) Laboratoria met (staan)tafels etc. voor studenten, na ca. 1840 > opleiden chemici o.a.



(C) Veranderde definities en inhouden

Definities

- De chemie is de **kunst** om gemengde, samengestelde, of geaggregeerde lichamen te ontleden in hun principes (hoofdstoffen); en om zulke lichamen uit hun principes weer samen te stellen. (1720)
- De Scheikunde is de **Wetenschap**, die ons de samenstelling der lichamen en derzelver verhouding tot elkander leert kennen. (1830) (vgl. 1660)
- Bij de proeven (...) veranderen de stoffen slechts tijdelijk. Hare samenstelling bleef dezelfde. Verschijnselen als deze noemt men **natuurkundige verschijnselen**. (p. 7). Bij de proeven (...) veranderden de stoffen blijvend van samenstelling en verkregen we nieuwe stoffen met andere eigenschappen dan de oorspronkelijke. De verschijnselen bij deze proeven waargenomen noemt men **scheikundige verschijnselen**. (1900/ 1880)

Inhoud

- Vuurkunst
- Onderzoek naar verbanden tussen stoffen (affiniteitstabel - 1730)
- Elementbegrip Lavoisier (maar warmte stof en elektriciteit onderdeel van de chemie !)
- Ca. 1780-1840 ontstaan van scheikunde als discipline, en **grens** met de natuurkunde!
- 1800-1840 opkomst analytische chemie
- 1860 structuurtheorie
- 1869 periodiek systeem

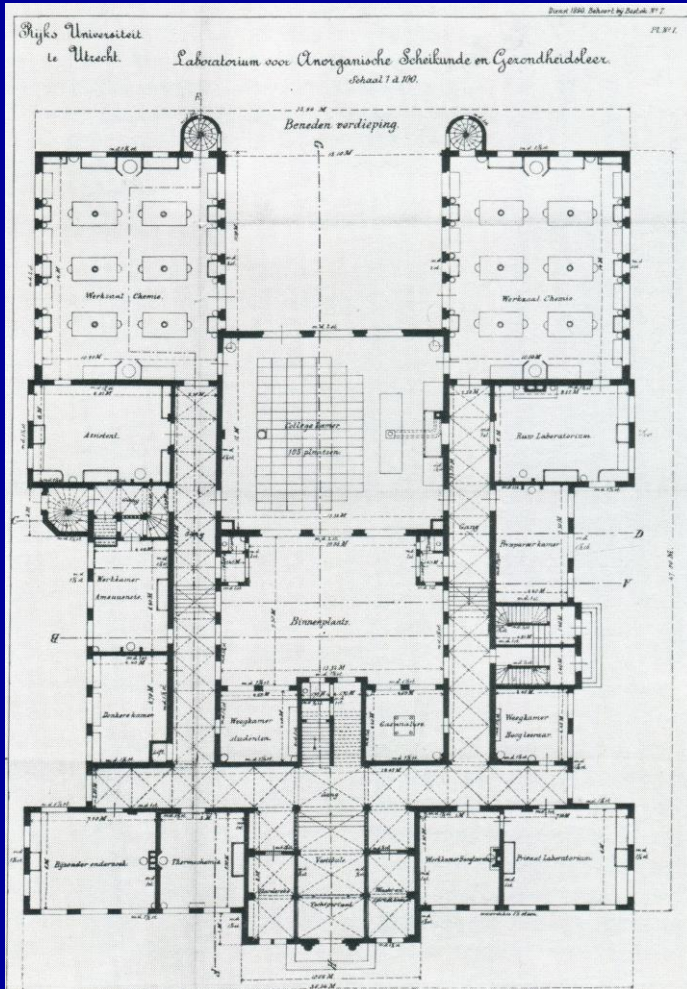
Conclusie 1600-1900

Afbeelding: Lab Utrecht 1845 (foto heden)

- Chemie 'gefixeerd' als discipline in leerboeken, curricula, exameneisen etc.
- Duidelijke grenzen met natuurkunde, biologie etc.
- Machtspositie met belangen-verenigingen e.d.
- Relaties met industrie.
- Een 'mammoetanker' die de 20^{ste} eeuw invaart.
- Theoretisch kader ca. 1920-1940 voltooid: kwantumtheorie (benzeen; PS), conformatie-analyse, reactiemechanismes, schillentheorie periodieksysteem, ionentheorie (Debye-Hückel)



Drie Utrechtse laboratoria: anorganische chemie (1893); fysische chemie (1904); organische chemie (1938). De chemie werd een maatschappelijke factor van betekenis



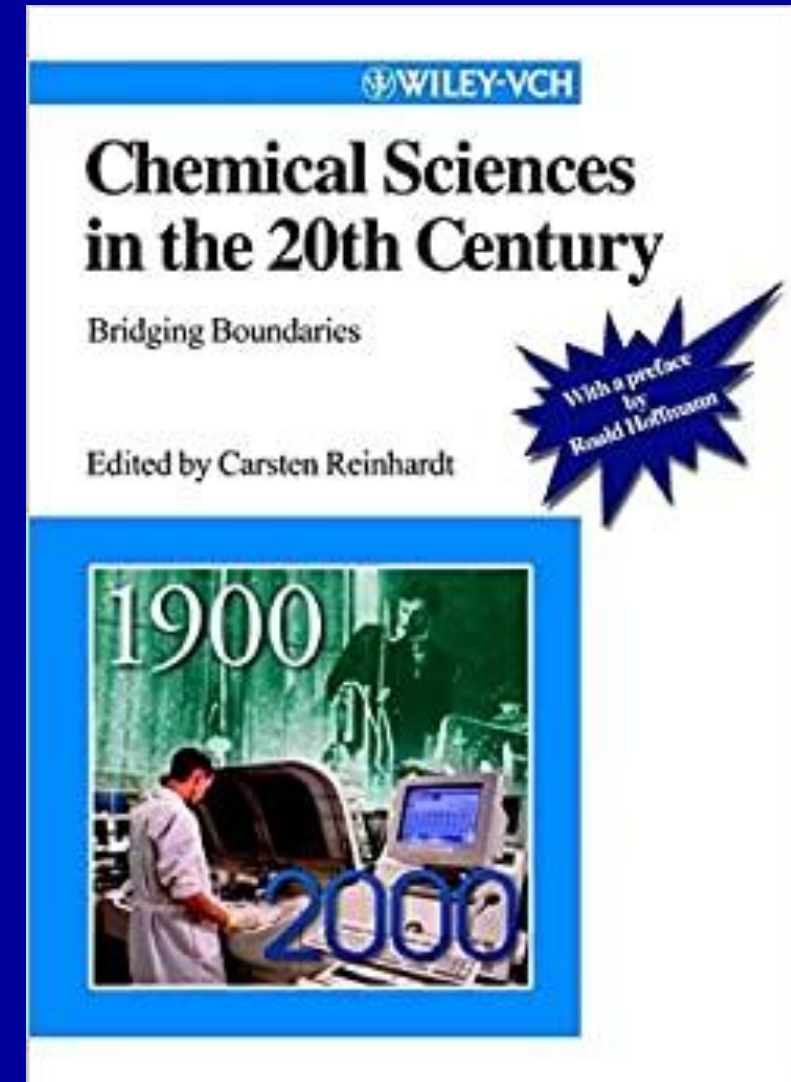
Moraal

- Essentie: de chemie verandert voortdurend; en daarmee ook de grenzen van de chemie
- Je kunt geen tijdloze definitie verzinnen die altijd geldt
- Chemie is een 'sociale constructie' die het resultaat is van historische veranderingen
- Wel zijn er 'stabiliserende krachten' die het gevolg zijn van 'institutionalisering' en die veranderingen proberen tegen te werken, zoals paradigma's/ theorieën (bv. molecuulbegrip etc.), maar ook wetenschappelijke genootschappen, machtige hoogleraren, examenprogramma's, curricula etc. etc.

Maar.... opkomst specialismen: 'Bridging Boundaries'

- Fysische chemie 1880
- Röntgenkristallografie 1915
- Fysiologische chemie > biochemie 1920
- Fysisch-organische chemie 1920
- Chemical engineering 1920
- Vaste stof chemie 1925
- Chemische fysica 1930
- Kwantumchemie 1930
- Polymeerwetenschap 1940
- Moleculaire biologie 1953 (DNA)
- Bio-organische chemie 1970 (etc.)
- Computational chemistry 1980

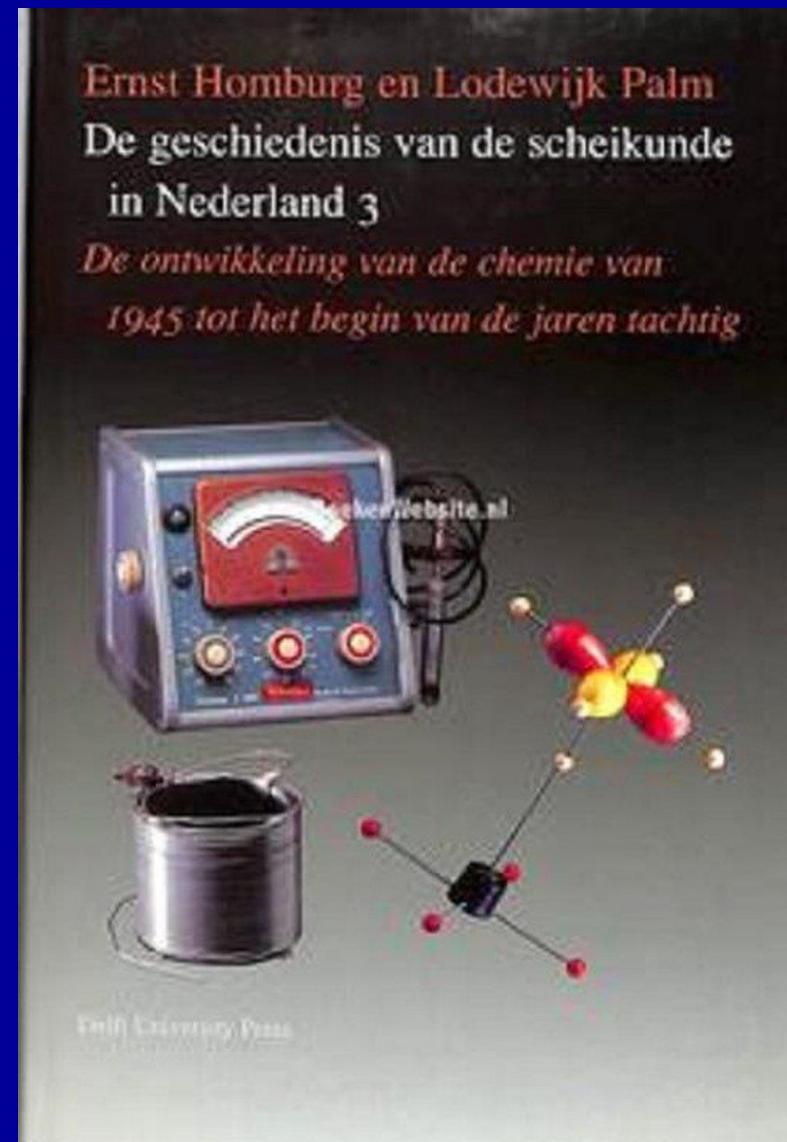
>> Vanuit het 'bolwerk' dus steeds meer dwarsverbanden met fysica, biologie, metallurgie, informatica etc.



2. Groei aan de grenzen

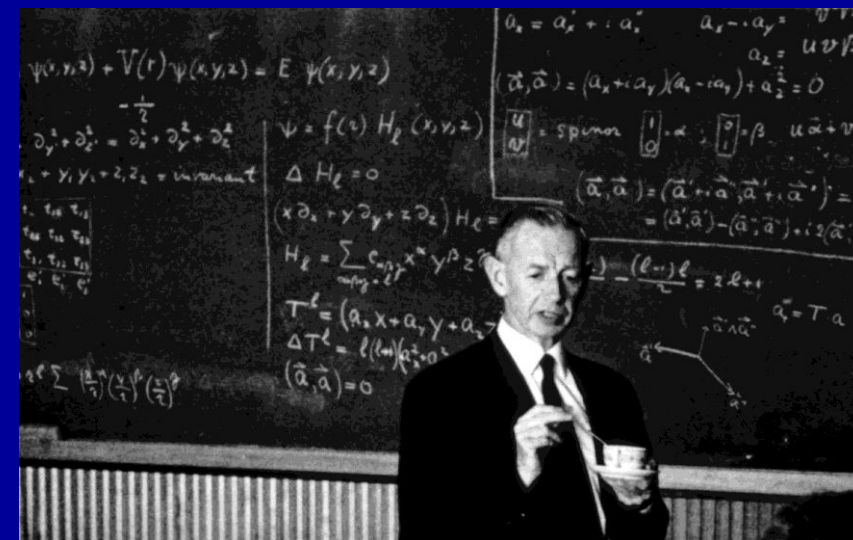
- Chemie in Nederland 1945-1985: grenzen aan de groei, groei aan de grenzen
- Stagnatie studentenaantallen na 1970. Achterblijvende financiering. Gevolg na 1980: samenwerking met de industrie
- Leerstoelen (1940 vs. 1980)
 - Biochemie 18 > 30
 - Fysische chemie 14 > 19
 - Organische chemie 14 > 10
 - Anorganische chemie 10 > 7
 - Analytische chemie 10 > 5

Krimp van de oude 19^{de} eeuwse chemische kernvakken; groei aan de grenzen



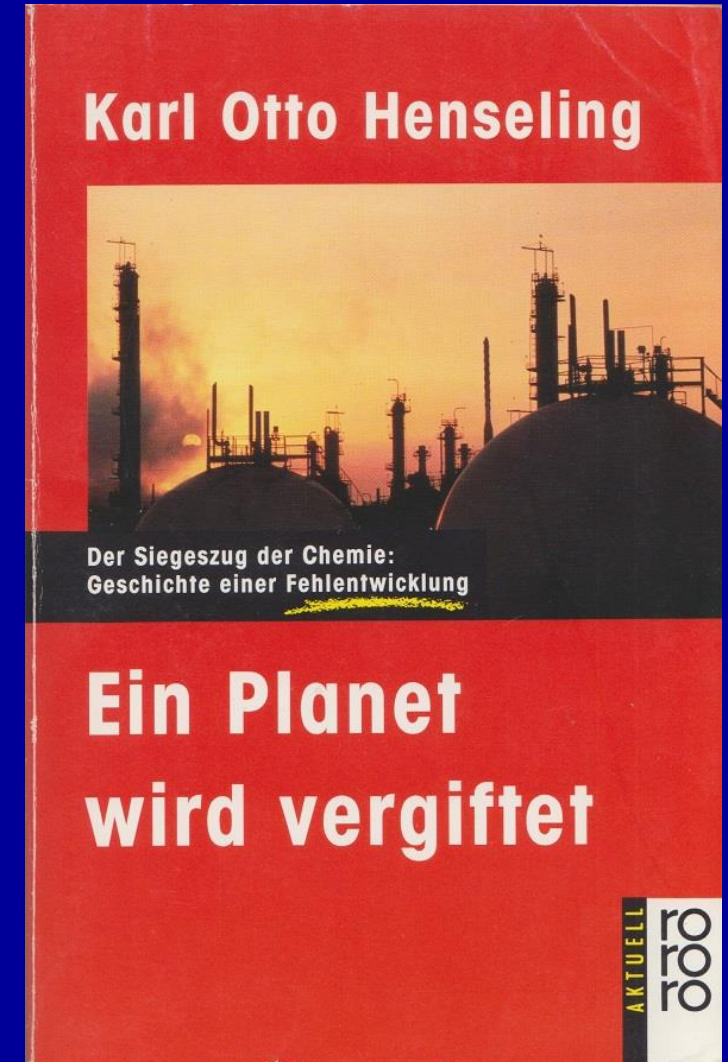
Naoorlogse ontwikkelingen: drijvende krachten en gevolgen

- Enorme technische ontwikkeling in instrumentele methoden en computers
- Uitwerken van de wetenschappelijk doorbraken uit de periode 1925-1955
- Maar na 1970 eigenlijk geen spectaculaire theoretische ontwikkelingen in de 'kern' van de chemie (of misschien de supramoleculaire chemie na 1990?)
- Farmaceutische industrie overvleugelt de chemische.
- Kortom, het centrum valt stil – maar zie ook Matthias Bickelhaupt: [‘Qua theorie komt er een chemie 2.0’ | Verdieping | ScienceLink](#). De groei vindt plaats in aangrenzende ‘mega-sciences’ zoals de **life sciences** (biologie, geneeskunde, chemie, etc.) en **materials science** (fysica, chemie, metallurgie, polymeerwetenschap, etc.), en **nanotechnologie**.



Het einde van de chemie?

- Populaire boeken over natuurwetenschap: natuurlunde (gravitatie, quarks) en biologie (Darwin, DNA), nauwelijks over chemie, of het gaat over **milieuproblemen/ imago**.
- *Chemisch2Weekblad* : tweewekelijks magazine voor **biomoleculaire wetenschappen, technologie en chemie** : nieuwsorgaan van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (vanaf 1999)
- *C2W/Mens & molecule* : vakblad voor **chemie en life sciences** (vanaf 2022)
- Chemie-historici stellen de vraag of de chemie zal verdwijnen en zal opgaan in andere vakken/ disciplines
 - Carsten Reinhardt, 2001, 2011, 2019, 2022
 - Bernadette Bensaude Vincent, 2001, etc.
 - Peter Morris, 2001, 2008
 - Stephen Breuer, 2002: does chemistry have a future?



Wat betekent dit voor de schoolscheikunde?

- 2010: rapport commissie Van Koten: *Scheikunde in de dynamiek van de toekomst*
- 2013: nieuwe examenprogramma scheikunde

Mijn interpretatie

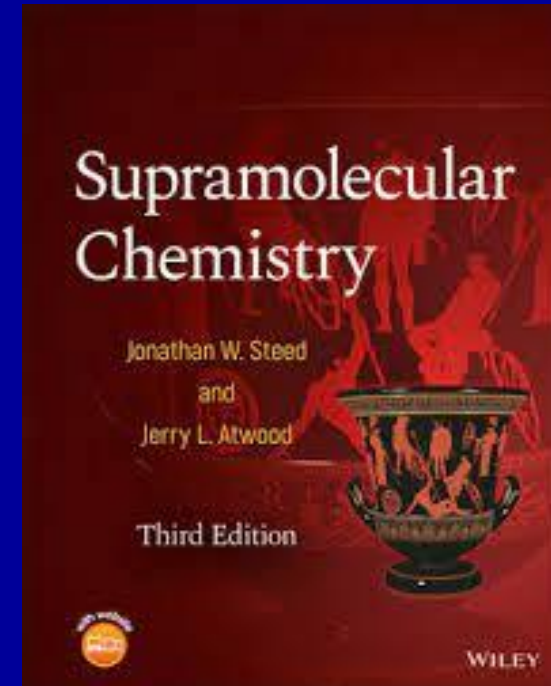
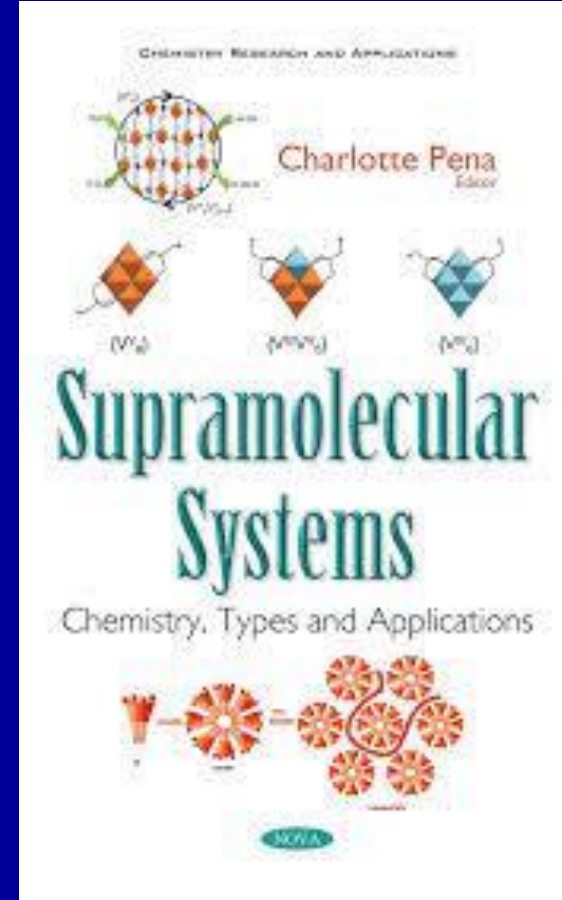
- Poging om de centrifugale krachten tegen te gaan, en de scheikunde 'te redden' door modernisering en soms bredere vakoverstijgende vraagstukken.
- Maar gaat het ver genoeg? Zouden de natuurwetenschappelijke vakken niet meer moeten samen werken? Dit is het klassieke dilemma van multi- en interdisciplinariteit. **Flexibiliteit vs. diepgang**. Je wilt in de samenleving eigenlijk het hele spectrum aan opties hebben.



3. Zijn er (echte) grenzen aan de chemie?

- Chemie = de wetenschap van moleculen
- Covalente en ionogene bindingen
- Van der Waals-London krachten zijn vanouds fysica
- Waterstofbrug reeds hybride
- Maar supramoleculaire chemie gaat over ensembles, met veel invloed van zwakke krachten. Invloed ook op reactiepaden e.d./ ordening en structuur

>> Conclusie: diffuse grens tussen chemische en fysische processen op microniveau/ continuüm



Is de tweede hoofdwet een wet?

- Kinetische theorie: proces van lage entropie naar hoge entropie heeft een zeer grote waarschijnlijkheid
- Afwijkingen zijn aangetoond. Bv. bij reacties in zeer verdunde gassen. Worden soms niet verwachte reactieproducten aangetroffen.

>> Conclusie: basistheorie is geen dogma.
Denk ook aan niet-stoichiometrische verbindingen; afwijkende valenties e.d.

$$\frac{dS}{dt} \geq 0$$

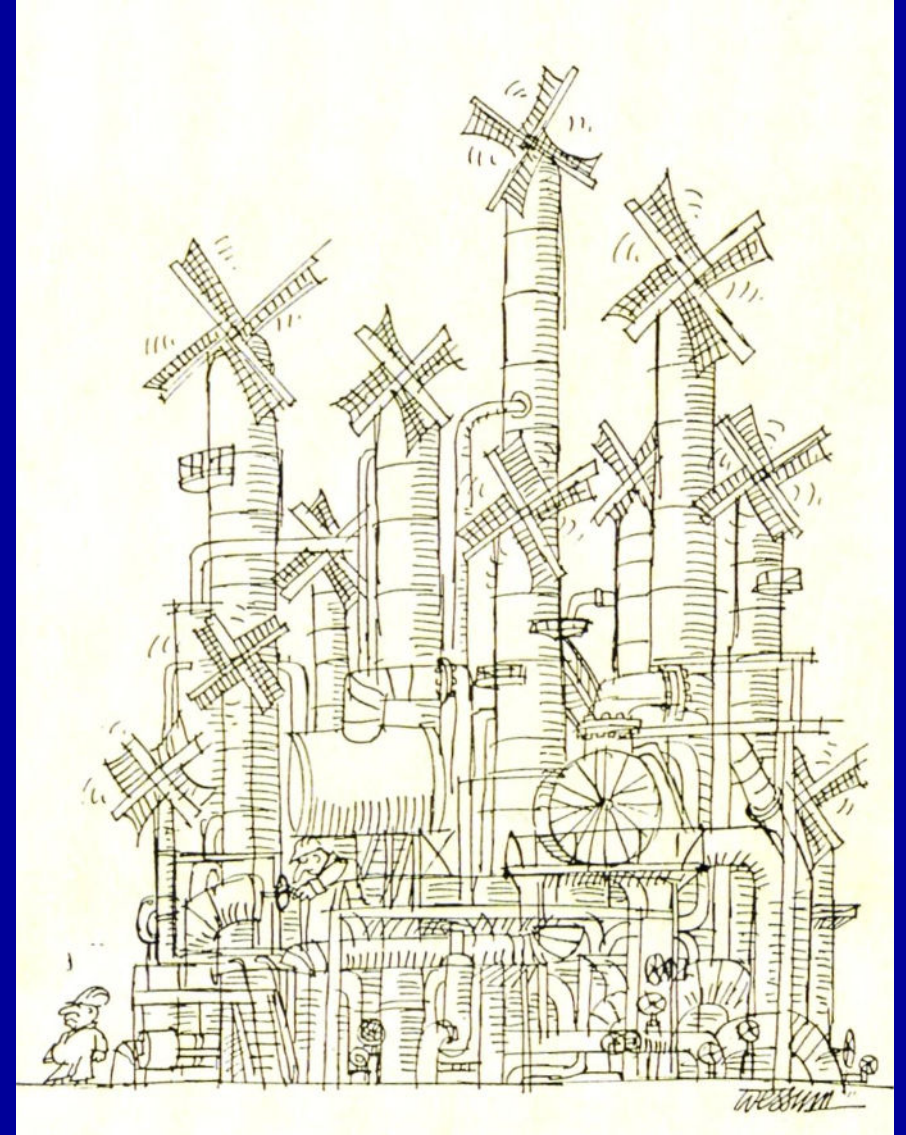
Zijn er grenzen aan de duurzame / groene chemie?

Brundtland rapport (1987): van stagnatie naar verantwoorde groei

Nadruk op duurzaamheid

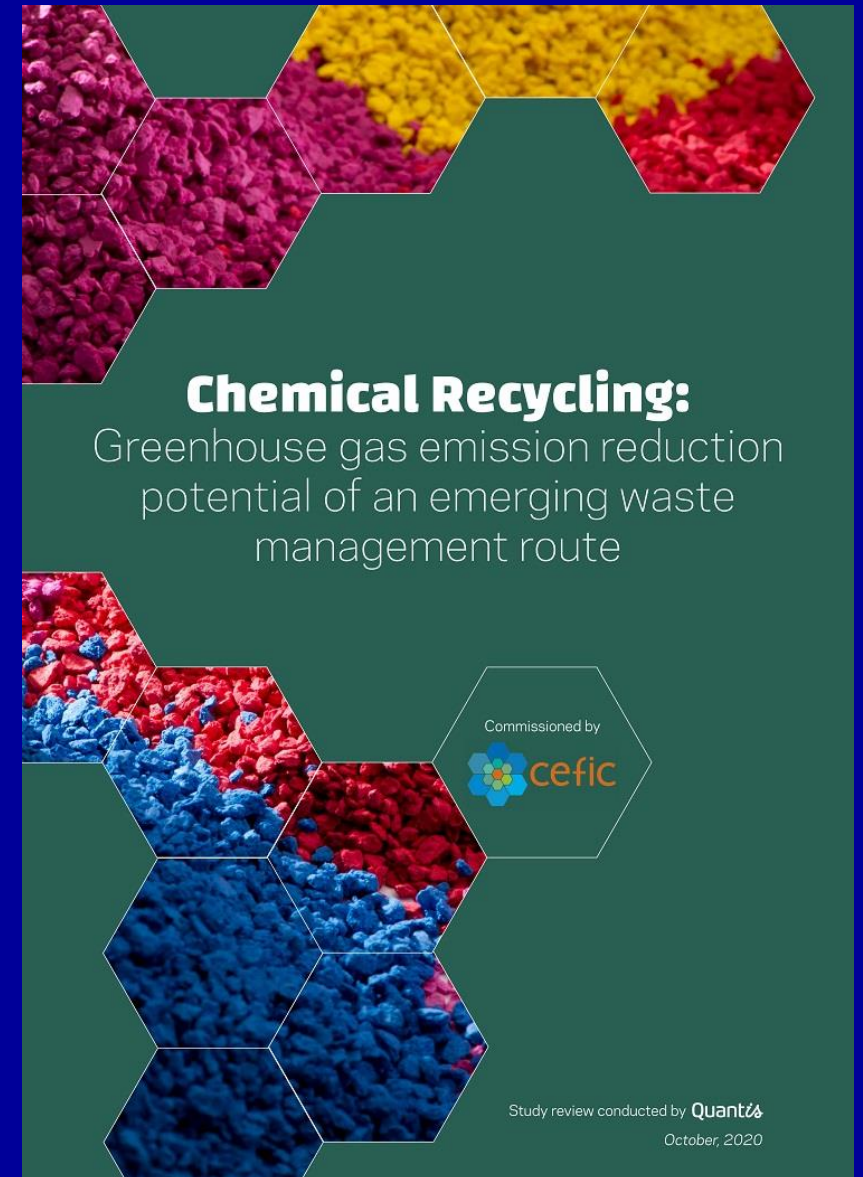
Sluiten van kringlopen

Opkomst Groene Chemie (1990s)



Technologieën voor grondstoffentransitie (1)

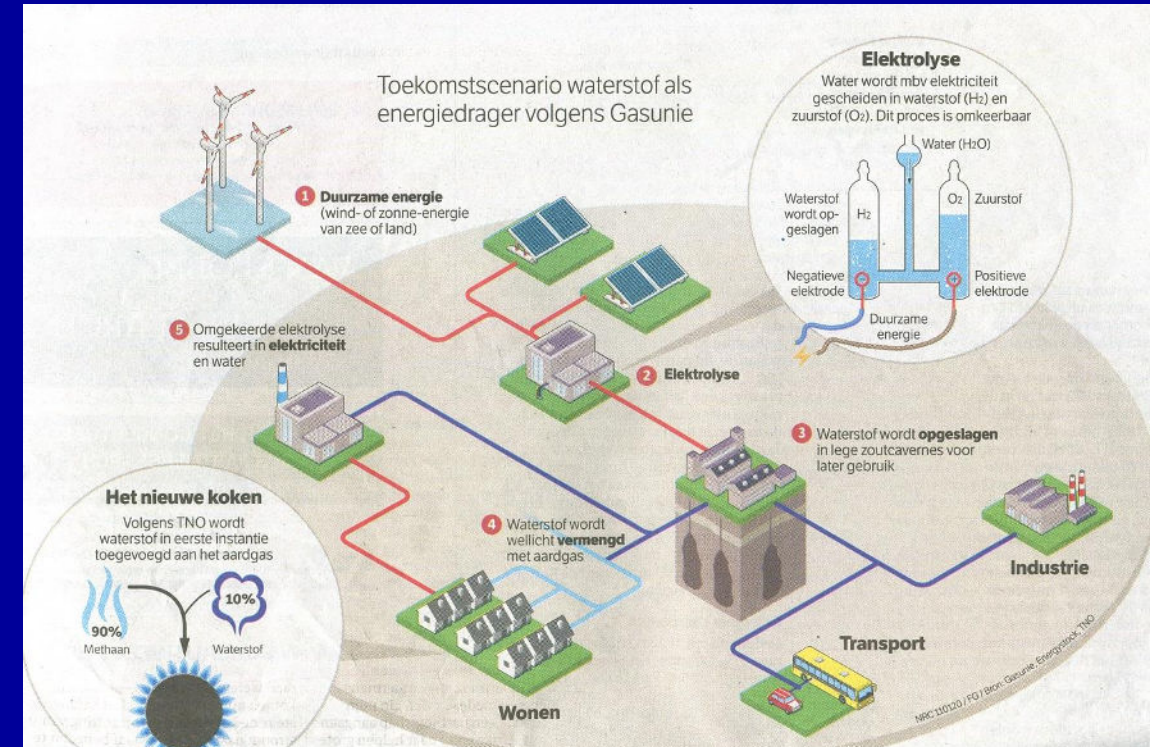
- > **Reduceer fossiele feedstocks**
- Hogere opbrengst en meer selectieve processen (katalyse; biocatalyses)
- Procesintegratie en intensifiering
- Recycling en hergebruik (plastics)
- Herontwerp van producten: cradle to cradle (plastics)



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



Maar

- Altijd reststromen en residuen
- Altijd warmte dissipatie
- Tweede hoofdwet, heeft uitzonderingen, maar is op grote schaal niet te omzeilen
- Niets doen is echter ook geen optie

De echte grenzen van de chemie hebben te maken met de rol in de maatschappij:

- Tunnelvisies (waterstof)
- Lobbies
- Politieke patstellingen (stikstof)
- Financiële belangen

>> Kijk dus verder dan je pipet lang is !!



Boek bestellen: door een mail te sturen aan:
Tiny Koelewijn: administrateur@hoogewerff-fonds.nl

Prijs ca. 20 Euro, incl. verzendkosten