

De maatschappelijke functie van de wiskunde -
historische ontwikkeling vanaf ca. 1800

Onderdeel van het dictaat

"Maatschappelijke functie van
de Wiskunde" bij het gelijk-
namige college dat ik in
de 80'er en 90'er jaren
gaf aan het Mathematisch
Instituut van de Universiteit
Utrecht.

H. J. W. Bos

1 De rol van de natuurwetenschappen in de technologie en de industriële productie

1.1 Inleiding

Een belangrijk aspect van de maatschappelijke rol van de wiskunde is de invloed die de wiskunde heeft via natuurwetenschappen en technologie op de industriële productie. In hoofdstuk 1 wordt de rol van de natuurwetenschap in de industrie vanaf de “industriële revolutie” behandeld. Hoofdstuk 2 gaat over de specifieke rol van de wiskunde daarbij.

1.2 De industriële revolutie, 1780-1840

De industriële revolutie wordt globaal gedateerd in de periode 1780-1840; dit betreft dan in de eerste plaats de ontwikkeling in Engeland. In de Engelse textielindustrie (katoen) traden grote veranderingen op: Het productieproces werd *gemechaniseerd*, grootschalige spin- en weefmachines verdrongen de door één man of vrouw bediende spinnewielen en weefgetouwen. De productie werd geconcentreerd in *fabrieken*, waar de machines werden aangedreven door *centrale krachtbronnen*, waterkracht of stoommachines.

De gevolgen van deze veranderingen waren ingrijpend: De productie steeg, en richtte zich op de wereldmarkt, daardoor werden de middelen voor goederenverkeer sterk ontwikkeld: *zeevaart*, *kanaalvaart* later *spoorwegen*. Verder ontstond er een splitsing van de bij industrie betrokkenen in *klassen*, de klasse der *ondernemers*, die de productiemiddelen (machines, energiebronnen) bezaten, en de klasse der *arbeiders*. De arbeiders woonden in de rond de fabrieken groeiende industriesteden (urbanisatie); hun sociale omstandigheden waren zeer slecht.

Technologie was van belang bij deze ontwikkelingen (*machines*), maar het was een vrij eenvoudige technologie en natuurwetenschappelijke kennis speelde een zeer geringe rol; alleen in de productie van nieuwe *textiel-verfstoffen* en in het proces van *bleken* leverde de *scheikunde* een aantal vernieuwingen.

1.3 1840-1870, periode van consolidatie

In de periode 1840-1870 breidde zich de nieuwe industriële productiewijze uit tot andere landen (*Frankrijk*, *Duitsland*) en tot andere industrieën (*steenkol*, *ijzer*, vooral in verband met de *spoorwegen*, *machines*). Hierbij groeide het belang van technologie voor de industrie, maar de invloed van natuurwetenschap bleef gering.

De industrie maakte gebruik van wetenschap door aanstelling van wetenschappelijk getraind personeel (vooral *ingenieurs*) en door contacten met *technische hogescholen* (vooral in Duitsland). In deze tijd ontstonden ook de eerste industriële researchlaboratoria.

In deze periode ontstonden *oligopolieën*, grote firma's die takken van industrie monopoliseren, bijvoorbeeld Standard Oil, Krupp, Imperial Chemical Industry (I.C.I.) en Vickers Armstrong. Engeland verliest zijn leidende industriële positie aan Duitsland; Amerika ontwikkelt zich ook als industriële mogendheid.

Urbanisatie zet zich verder door, er zijn economische *krisen*, de sociale omstandigheden der arbeiders blijven zeer slecht. Er ontstaan *arbeiders organisaties* (coöperatieve beweging, vakbonden, socialistische bewegingen); door *stakingen* worden *wettelijke regelingen* omtrent *werkomstandigheden* bereikt die enige verbetering brengen.

Wetenschap en “wetenschappelijkheid” krijgen in deze periode *groot prestige* in industriële kringen: ondernemers willen hun bedrijf wetenschappelijk organiseren, het socialisme noemt zichzelf wetenschappelijk, tegenover de traditionele autoriteiten (staat, kerk), wordt wetenschap als nieuwe *autoriteit* gesteld.

1.5 De periode 1900-1940

In de eerste helft van de 20e eeuw zetten zich de tendenzen van de tweede industriële revolutie voort: groei en ontstaan van nieuwe “*science-based*” *industrieën* b.v. optische industrie, fotografie). Industrieën begonnen de productie meer te *automatizeren* (de *lopende* band, bij vleesindustrie (Chicago) en bij de automobiellindustrie (Ford). F.W. Taylor (1860-1938) propageerde al vanaf ca. 1880 rationalisering en automatizing in de productie; hij noemde dat “scientific management”.

De *eerste wereldoorlog* (1914-1918) toonde het belang van (vooral chemische) industrie voor de *militaire* kracht van een land (explosieven, massaproductie van militair materieel, speciale metaallegeringen en glas).

De *krisis* (1929), die leidde tot grote werkloosheid en stagnatie in de dertiger jaren, bracht desillusie in het kapitalistische productiesysteem en ondermijnde het geloof in wetenschap. Er onstond (met name in Engeland) discussie over sociale rol van wetenschap en over de taak van de staat in de economie.

Het voorbeeld van de Sovjet Unie speelde een grote rol in deze discussie; daar was een andere, centraal geleide, staatsvorm die uitdrukkelijk op wetenschap gebaseerd was en zich presenteerde als alternatief voor de kapitalistische productie- en maatschappijvorm.

1.6 De tweede wereldoorlog 1939-1945

wikkeling van radar kustbewaking, ballistiek, strategie van vloot- en konvooibewegingen en verkenning vanuit de lucht.

1.7 De periode na 1945, “derde industriële revolutie”

De Verenigde Staten waren na de oorlog de belangrijkste economische en industriële mogendheid. Het gebruik van wetenschap zoals in de Operations Research, namelijk “*mission oriented*” onderzoek door *interdisciplinaire* teams, werd ook in de industrie ingevoerd. De *verstrengeling* van industrie, wetenschap, staat en het militaire apparaat bleef: veel wetenschappelijk onderzoek aan Amerikaanse universiteiten werd door leger en luchtmacht *gefinancierd*. In verband met grote *prestigeprojecten* (maanrace, Concorde) financierden staten op uitgebreide schaal wetenschappelijk onderzoek.

Wetenschap werd onderkend als een belangrijke *productiekracht*, en daarom als een verantwoordelijkheid van de staat; *wetenschappelijk onderwijs* werd verbeterd met als doel economische groei te stimuleren. Inderdaad leverde wetenschappelijk onderzoek veel nieuwe *industriële producten*: televisie, computers, tape-recorders, kunstmatige vezels, plastics, atoomenergie als krachtbron, nieuwe farmaceutische producten (de pil, tranquilizers) wasmiddelen, pesticiden, transistor-radio's etc. De industrie ging zich internationaal organiseren (de “*multinationals*”).

Wetenschap werd ook ingezet om de *organisatie van de productie* meer efficiënt te maken. Operations Research, industriële statistiek en de computer (op de markt sinds de 1950'er jaren) brachten vergaande *automatisering* van de productie en de administratie. Dit laatste had een zo ingrijpend effect op de productie dat men in dit verband wel spreekt van de “*derde industriële revolutie*”.

1.8 Problematische rol van wetenschap

De wetenschap *groeide* zeer sterk (gemeten in geld, aantal banen, aantal instellingen) en had een zeer groot *prestige*. Dit veranderde echter in de 1960'er en 1970'er jaren. De *Vietnam-oorlog*, waarbij aan Amerikaanse zijde wetenschap en technologie sterk betrokken waren, bracht *desillusie* over het politieke en morele leiderschap van het Westen. Verder bracht de, mede door de wetenschap veroorzaakte, enorme economische groei *problemen* mee waarvoor de wetenschap geen oplossing klaar had: milieuverontreiniging, de kloof tussen rijke en arme landen, de bevolkingsexplosie, de energiekrisis, onveiligheid van atoomenergie, groeiend gevaar van een atoomoorlog. De onderkenning van deze problemen leidde tot vernieuwde discussie over de *maatschappelijke rol van de wetenschap* (studen-

2 De rol van de wiskunde in de industriële productie

2.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is de rol van de natuurwetenschap, via de technologie, in de industriële revolutie besproken. Nu komt de wiskunde aan de orde; we gaan na welke rol het vak gehad heeft in de ontwikkeling van de industriële productie in de periode vanaf de industriële revolutie.

2.2 Wiskunde in de 19^e eeuw

Na de ontdekking van de differentiaal- en integraalrekening (Newton, Leibniz, ca. 1675) had de *analyse* zich in de 18^e eeuw sterk ontwikkeld (differentiëren, integreren, reeksen, gewone en partiële differentiaalvergelijkingen, variatierekening, speciale functies enz.). De nieuwe methoden werden veelal ontwikkeld in wisselwerking met *astronomie*, *mechanica* en *hydrodynamica*. Ook in de *waarschijnlijkheidsrekening* werd analyse gebruikt. *Algebra* (theorie van vergelijkingen) en *meetkunde* werden door de analyse overschaduwd. Deze ontwikkeling was in de 18^e eeuw het werk van een *kleine groep* topwiskundigen (de Bernoullis, Euler, d'Alembert, Lagrange).

Praktische toepassing van de nieuwe methoden was er *weinig* (waarschijnlijkheidsrekening bij levensverzekering, hemelmechanica bij berekening van astronomische tabellen t.b.v. de zeevaart).

Gedurende de 19^e eeuw zette de ontwikkeling van de *analyse* zich voort (complexe functietheorie, Fourier analyse, preciesere definitie van grondbegrippen via het limietbegrip), de wisselwerking met astronomie en mechanica bleef, daarbij kwamen als nieuwe delen der mathematische fysica *warmteleer*, *elasticiteitstheorie* en *electromagnetisme*. *Algebra* ontwikkelde zich van een theorie over vergelijkingen naar een theorie over algebraïsche structuren; *Meetkunde* onderging ook een sterke ontwikkeling (niet- Euclidische meetkunde, projective meetkunde, algebraïsche meetkunde), evenals *waarschijnlijkheidsrekening*. Een grotere groep wiskundigen was erbij betrokken (Cauchy, Fourier, Laplace, Weierstrass, Gauss, Riemann en vele anderen). Toch bleven de praktische toepassingen van deze nieuwe methoden tot in de eerste helft der negentiende eeuw gering; de invloed van wiskunde via mathematische fysica in de industrie begint pas in de “tweede industriële revolutie” (1870-1900).

2.3 Ingenieurs-wiskunde, beschrijvende meetkunde

nen worden. Het vak is dus van belang voor architecten (bouwtekeningen), ingenieurs, constructeurs, ontwerpers van machines etc. Deze gebruikten al lang voor 1800 tekeningen, maar er was geen algemene methode, en er waren vele verschillende, en soms foute methoden in omloop. Monge ontwikkelde zo'n algemene methode in verband met zijn onderwijs aan een school voor militaire ingenieurs (fortificatie). De methode bestaat er in dat van het object twee loodrechte *parallelprojecties* worden getekend op twee onderling loodrechte vlakken (grondvlak en zijvlak meestal). Beide projecties werden in één vlak gebracht (door het zijvlak in het grondvlak te klappen); de zo ontstane tekening bevat in principe alle informatie over het afgebeelde object. Beschrijvende meetkunde leert nu de technieken om de informatie af te lezen uit de tekening. Die technieken kunnen zeer ingewikkeld zijn, denk bijvoorbeeld aan doorsnijding van gebogen oppervlakken bij gewelven in bouwwerken.

Monge onderwees zijn technieken aan de *École Polytechnique* te Parijs, een in 1795 gestichte school voor militaire ingenieurs. Hij publiceerde een leerboek erover in 1799. De *École Polytechnique* was het voorbeeld voor de vele ingenieursscholen en technische hogescholen die in de 19e eeuw ontstonden; beschrijvende meetkunde werd op al die opleidingen onderwezen, het werd als ware de *taal van de ingenieurs*, en de ingenieurs werden gezien als de voortrekkers der industriële ontwikkeling (Jules Verne's helden zijn ingenieurs).

Twee andere bijdragen van geavanceerde wiskunde aan de 19e eeuwse technische praktijk waren grafische statica en nomografie. *Grafische statica* is een methode waarmee door meetkundige constructie in een bouwtekening de sterkte en de draagkracht van ontwerpen (bruggen, balkconstructies e.d.) kunnen worden berekend. De methode, ontwikkeld ca. 1870, werkte sneller dan de bestaande rekenmethodes, en was van groot belang in de nieuwe bouwwerken (vooral spoorbruggen) waarbij veel ijzer werd toegepast. De Eiffeltoren (1889) werd ontworpen met behulp van deze methode.

Nomografie is een meetkundig rekenhulpmiddel bij de toepassing van formules in de praktijk. De theorie van nomografie leert hoe men bij bepaalde formules (bijvoorbeeld het verband tussen doorbuiging, overspanning en belasting van een balk) grafiekbladen ("nomografische bladen") kan maken waaruit men eenvoudig kan aflezen hoe groot de ene variabele is bij gegeven waarden van de overige. De techniek werd ontwikkeld door P.M. d'Ocagne (1862-1938, een ingenieur, later professor aan de *École Polytechnique*) en gepubliceerd in 1899; sindsdien zijn nomografische bladen zeer belangrijk in de technische praktijk geweest. Tegenwoordig neemt de voorgeprogrammeerde zakcomputer hun functie over.

Het is belangrijk op te merken dat het in de 19e eeuw vooral de *meetkunde* was die

getallen (in verband met wisselstroom en lineaire differentiaalvergelijkingen) en *determinanten* (bij *electrische netwerken*). De invoering van nieuwe wiskundige methoden ging geleidelijk en stuitte op enige weerstand (b.v. tegen complexe getallen). Het was het werk van fysici en ingenieurs; er groeide een *kloof* tussen de universitaire zuivere wiskunde en de wiskunde der ingenieurs (voorbeeld: de door de electrotechnische ingenieur O. Heaviside ontwikkelde *Heaviside calculus* voor oplossing van differentiaalvergelijkingen; deze veel gebruikte theorie werd door wiskundigen niet aanvaard omdat de grondslagen ervan niet streng bewezen waren).

2.5 De industriële wiskundige

Dit nieuwe gebruik van wiskunde liep vooral via mathematische fysica. Toch werden in de 20e eeuw in de grotere industrieën wiskundigen aangesteld om ook rechtstreeks hun kennis toe te passen of om anderen te adviseren. Rond 1940 waren er in de V.S. 150 mensen als industrieel wiskundige werkzaam (statistici en verzekerings-wiskundigen uitgezonderd). Zij werkten bij grote industrieën (Bell Telephone had zelfs een wiskundig research centrum) en wel vooral in *kommunicatie industrie* (telefoon, telegraaf, radio's); verder in *electrische industrie*, *olieindustrie* en *vliegtuigbouw*. Zij hielpen fysische en technische problemen oplossen (bijvoorbeeld: ontwerp van vacuüm buizen, vorm van antennes, vorm van vliegtuig vleugels, electrische netwerken). De betrokken wiskunde was vooral *analyse* (differentiaal- en integraalvergelijkingen, ontwikkeling naar orthogonale functies, complexe functie theorie, variatierekening). Algebra en meetkunde waren van minder belang, maar *determinanten* en *analytische meetkunde* werden gebruikt.

Verder werd van de industriële wiskundige grote kennis verwacht van *mathematische fysica*: mechanica, elasticiteitsleer, hydrodynamica, thermodynamica, electro-magnetische theorie enz.

In Europa waren er waarschijnlijk minder industriële wiskundigen dan in de V.S., maar hun werk was van dezelfde aard.

2.6 Industriële wiskunde en de tweede wereldoorlog

De tweede wereldoorlog stimuleerde in de V.S. en in Engeland een aantal ontwikkelingen die van groot belang zijn geweest voor de latere wiskunde, en daarmee ook voor de industriële wiskunde, namelijk:

- De ontwikkeling van de *computer*. De eerste computers werden gebouwd aan Amerikaanse universiteiten, gefinancierd door het leger; ze werden vanaf ca. 1943 gebruikt.

in verband met theoretische economie), *computer simulatie technieken* (ondermeer voor modellen van militaire strategieën en economische systemen) en *cybernetica*.

- In verband met massaproductie (munitiefabrieken) werden nieuwe methoden van *industriële statistiek* ontwikkeld (steekproeven voor kwaliteits controle).

2.7 Industriële wiskunde na de tweede wereldoorlog

De in en na de oorlog ontwikkelde nieuwe wiskundige technieken werden toegepast in de industrie. Daardoor groeide de industriële wiskunde zeer sterk en onderging daarbij een *verandering van karakter*. Door de computer en door de ontwikkeling van wiskundige methoden voor organisatie problemen (Operations Research) werd wiskunde niet meer alleen toegepast bij het ontwerpen van het industriële product, maar ook bij de *organisatie van de industriële productie* (planning, marketing, automatisering, vervoersorganisatie, voorraad beheer, personeelsplanning etc.).

In verband daarmee worden *statistiek*, *waarschijnlijkheidsrekening*, *Operations Research*, *numerieke analyse*, en *informatica* van even groot belang voor de industriële wiskunde als de (via mathematische fysica toegepaste) analyse.

Sinds de computer als handelswaar op de markt kwam (in de 1950'er jaren) werd de industriële wiskunde meer en meer *gecentreerd rond het gebruik van de computer*.

Voor de oorlog had de industrieel wiskundige vooral de taak min of meer zelfstandig te adviseren binnen de firma. Door de groei van het aantal wiskundigen in de industrie en door de verschuiving van hun werkterrein komen zij in een minder onafhankelijke positie; ze worden met vrij *vast omschreven taken* ingezet in het productieproces (*arbeidsdeling*).

3 Statistiek en de maatschappelijke invloed van de wiskunde via de sociale wetenschappen

3.1 Inleiding

De eerste twee hoofdstukken betreffen de maatschappelijke invloed van wiskunde die men als volgt kan aangeven:

wiskunde → natuurwetenschap → technologie → industriële productie → maatschappij.

Er is daarnaast een andere invloedslijn, die vooral na de tweede wereldoorlog zeer belangrijk is geworden, namelijk:

wiskunde → sociale wetenschap → organisatie en beleid → maatschappelijke organisatie → maatschappij.

Over deze laatste lijn gaat dit hoofdstuk.

3.2 Vóór 1800

Het gebruik van wiskunde in de maatschappelijke organisatie bestaat vooral uit het verzamelen van gegevens met behulp van getallen, en het baseren van *beslissingen* op deze gegevens. Dit gebruik van wiskunde is even oud als het tellen zelf; vanaf vóór-historische tijden hebben mensengemeenschappen *tellen* en *getallen* gebruikt bij het beheer van voorraden, bij de regeling van diensten, bij belastingen, bij de organisatie van legers, bij bouw, bij volkstellingen enz. enz. In de 17e eeuw ontstaat een speciale interesse in getalsmatige gegevensverzameling in verband met *levensverzekeringen* (toen een bron van inkomsten voor de staat). Er werden sterftetabellen opgesteld en men trachtte op basis daarvan de verwachte levensduur te schatten.

In de 18e eeuw groeide de praktijk van getalsmatige gegevens verzameling; “political arithmetic” was de Engelse term ervoor, “Staatenkunde” de Duitse term. De gegevens betroffen namelijk vooral staten of kleinere bestuurlijke eenheden; men telde inwoners, bedrijven, militair personeel, handelsverkeer etc. De term “Statistiek” is afgeleid van Staatenkunde.

Statistisch onderzoek was niet alleen staatszaak; vooral in verband met de slechte sociale situatie van de arbeiders hebben in de 19e eeuw *privé personen en groepen* grote statistische onderzoeken gedaan over armoede, hygiëne, woonomstandigheden, misdaad, omstandigheden in ziekenhuizen en gevangenissen etc. Een van de beroemdste voorbeelden van dergelijk onderzoek is het rapport *The life and labour of the people of London* dat Charles Booth met vele medewerkers opstelde en in 1889-1891 publiceerde. Hij verzamelde de gegevens over de *gehele* bevolking van London (ca. 4.000.000). Zijn schokkende resultaten toonden aan hoe slecht de sociale omstandigheden waren. Het rapport had een grote invloed op de Engelse sociale politiek rond 1900.

3.4 Verzamelende statistiek

Booth's rapport is een voorbeeld van de 19e eeuwse *verzamelende statistiek*: de gegevens worden *verzameld* (in lijsten of blokdiagrammen of ingekleurde landkaarten) en er worden *gemiddelden* en *percentages* berekend. Men poogde de gegevens zo betrouwbaar mogelijk te maken door zo *volledig* mogelijk te tellen. Verzamelende statistiek was niet in staat betrouwbare globale uitspraken op beperkte tellingen te baseren, en ook niet om verbanden tussen de statistische gegevens te leggen. Rond 1900 ontstond een nieuwe vorm van statistiek die daartoe wel in staat was (m.b.v. *steekproef-theorie* en *correlatie theorie*). Deze nieuwe vorm, *mathematische statistiek* genoemd, combineerde de verzamelende statistiek met de theorie der *waarschijnlijkheidsrekening*.

3.5 Waarschijnlijkheidsrekening en mathematische statistiek

Waarschijnlijkheidsrekening, de wiskundige theorie over kansen, verwachtingswaarden en kansverdelingen, ontstond in de 17e eeuw in verband met *geluksspelen* (verwachte winst bij kaart- of dobbelspelen) en *levensverzekering* (verwachte levensduur). In de achttiende en negentiende eeuw werd waarschijnlijkheidsrekening wiskundig uitgewerkt en toegepast bij de theorie van waarnemingsfouten (vooral in de astronomie).

Rond 1900 werd deze waarschijnlijkheidsrekening gebruikt om een aantal nieuwe statistische technieken te ontwikkelen die de beperkingen van de beschrijvende statistiek konden doorbreken. De belangrijkste technieken waren: de leer van *correlatie en regressie*, de techniek van *steekproeven* en de *factoranalyse*. Ze werden ontwikkeld in de *praktijk* van (vooral sociaal-) wetenschappelijk onderzoek. Ter illustratie van de achtergronden en de motivatie van deze ontwikkeling worden in de volgende paragraaf de belangrijkste personen besproken die er een rol in hebben gespeeld.

karaktereigenschappen binnen die klasse zoveel mogelijk overgeërfd zouden worden. *Eugenetica* was de naam voor de theorie die bestudeerde hoe deze overerving van capaciteiten bevorderd zou moeten worden. Galton meende ook dat wetenschappelijk onderzoek *kwantitatieve methoden* moest gebruiken in het bijzonder de statistische verzameling van veel *meetresultaten*. Dit paste hij toe bij onderzoek over erfelijkheid van eigenschappen. Hierbij wilde hij met name het verband aantonen tussen de karaktereigenschappen van ouders en hun kinderen. In verband hiermee werkte hij de mathematisch-statistische theorie van *correlatie en regressie* uit; hij publiceerde die in 1889 in een boek over erfelijkheid: *Natural Inheritance*.

Galton's theoretisch-statistisch werk werd voortgezet door *Karl Pearson* (1857-1936), een toegepast wiskundige met sterke filosofische interesse en overtuigd van de waarde der eugenetica. Hij schreef veel over *correlatie en regressie*, steeds echter in verband met *erfelijkheid* en *evolutie*.

Ronald Aylmer Fisher (1890-1962) paste de statistische ideeën van Galton en Pearson toe in zijn onderzoek in een groot *landbouwkundig onderzoekscentrum* (Rothamsted) waar hij in 1919 werd aangesteld.

Hij deed dit in verband met de planning van experimenten over landbouwgewassen (relatie tussen bemesting, grondsoort, weer, plantensoort en opbrengst). Hij beschreef zijn nieuwe methoden in belangrijke leerboeken over *design of experiments* (planning van experimenten). In dit verband werkte hij ook de theorie van *steekproeven* uit.

Ook in de *psychologie* werden sinds ca. 1900 statistische methoden gebruikt, in het bijzonder bij de eerste *intelligentie-tests*, methoden die uitgewerkt werden voor de keuring van recruten voor het leger. *Charles Edward Spearman* vond dat die methoden theoretisch slecht gefundeerd waren en werkte daarom de statistische theorie van intelligentietesten uit. Daarbij ontwikkelde hij *factoranalyse*, een statistische methode om de invloeden van verschillende factoren te bepalen die op een proces inwerken.

Door het werk van deze en andere statistici groeide de “mathematische statistiek” in vrij korte tijd tot een zeer rijke en effectieve theorie. Dit gebeurde echter tot de tweede wereldoorlog vrijwel uitsluitend in de *context van het gebruik*; pas daarna werd *mathematische statistiek* erkend als onderdeel van de wiskundige wetenschap.

3.7 Statistische methoden in de economie

In de 1920'er en 1930'er jaren werden de in biologie, landbouwkunde en psychologie ontwikkelde statistische technieken overgenomen in de *economie*. De door de *krisis* (1929) veroorzaakte enorme werkloosheid en economische stagnatie leidde tot vernieuwingen in

van getalsmatige gegevens over de economie werd daardoor ook sterk gestimuleerd. Ook de industrieën en privé-ondernemingen begonnen in verband met afzet- en marktonderzoek, op grote schaal met behulp van statistiek gegevens te verzamelen.

Een belangrijke techniek bij deze gegevens-verzameling waren de *steekproeven* (b.v. bij onderzoek van werkloosheidscijfers, huisvesting, gezondheid, koopgedrag etc.). In het bijzonder werden in de 1930'er jaren de technieken van *opinie-peilingen* uitgewerkt (Gallup). Een andere zeer belangrijke techniek betrof *indexcijfers*. Fisher had de theorie van indexcijfers ontwikkeld; ze werden toegepast bij bepaling en registratie van *levensstandaard* en *kosten van levensonderhoud*.

3.8 Na de tweede wereldoorlog

Na de tweede wereldoorlog zetten de bovengenoemde ontwikkelingen zich versterkt door. Op steeds grotere schaal werden met statistische technieken verzamelde gegevens gebruikt als basis voor *beslissingen* in de *politiek*, in de *economie* en in *beleid* op alle niveau's. De technieken werden verder ontwikkeld, in het bijzonder in verband met de *computer* die het onder meer mogelijk maakte te werken met zeer gecompliceerde *economische modellen* (simulatie, economische planburo's, het wereldmodel van de Club van Rome).

Verder treedt na de tweede wereldoorlog een sterke *mathematizering der sociale wetenschappen* op: psychologie, sociologie, economie, onderwijskunde, gebruiken steeds meer wiskundige methoden. Er is zelfs een tendens om het *wetenschappelijk niveau* van onderzoek in deze wetenschappen sterk in verband te brengen met de mate waarin wiskunde wordt gebruikt.

3.9 Tenslotte

In de vorige paragrafen is duidelijk geworden hoe de wiskunde, via mathematische statistiek steeds nauwer te maken heeft gekregen met *maatschappelijk*, *politiek* en *ideologisch* heel *belangrijke* en *gevoelige problemen*: armoede en rijkdom, werkomstandigheden, economische beslissingen, erfelijkheid (vraagstuk der "gelijke kansen"), selectie (intelligentietest) etc. etc.

In de negentiende eeuw werd de wiskunde, in de vorm van beschrijvende meetkunde, de "*taal van de ingenieurs*" (vgl. I-3). Tijdens de "derde industriële revolutie" werd de wiskunde, in de vorm van optimalisering, systeem-analyse etc., de *taal van de bedrijfsorganisator*. Statistische technieken en de gemathematiseerde sociale wetenschappen hebben de wiskunde ook gemaakt tot een zeer belangrijk onderdeel van de *taal en denkwijze in*

4 “Zuivere” of autonome wiskunde

4.1 Autonome wiskunde

In de voorgaande hoofdstukken is de rol van de wiskunde in de industriële productie en de maatschappelijke organisatie besproken. Op de moderne universiteiten wordt de wiskunde echter bedreven en gepresenteerd op een manier die vrijwel losstaat van het (maatschappelijk) gebruik. Dit wordt wel aangeduid met de term “zuivere” wiskunde. Een betere term is *autonome wiskunde*, waarmee bedoeld wordt wiskunde (zowel onderzoek als onderwijs)

- die niet gericht is op praktisch gebruik in de maatschappij,
- die voortbouwt op een uitgebreid, afgerond theoretisch geheel, de *basiskennis*, dat geordend is naar *logische samenhang* en niet naar praktische toepasbaarheid,
- die vooral *interne beoordelingscriteria* gebruikt, namelijk: waarheid (logische consistentie), elegantie, passendheid van methoden, algemeenheid en relevantie ten opzichte van andere onderdelen van de wiskunde.

Autonome wiskunde is niet nieuw; al in het oude Griekenland werd wiskunde op deze manier bedreven. Maar het is wel nieuw dat deze stijl van wiskunde op grote schaal bedreven en onderwezen wordt op door de staat gefinancierde instellingen als universiteiten, technische hogescholen, middelbare scholen en vele andere vormen van onderwijs. Deze situatie is pas in de 19e eeuw ontstaan, en wel het eerst in Duitsland.

4.2 Twee stromingen in Duitsland

In de eerste helft van de 19e eeuw was er in Duitsland een combinatie van sociaal-economische factoren die zeer gunstig was voor het ontstaan van universitaire autonome wiskunde. Die factoren stonden in verband met twee maatschappelijke stromingen met deels tegengestelde doelen.

Enerzijds kwam in die periode de *bourgeoisie* op als politieke macht. De bourgeoisie had als ideologie het *liberalisme*: de leer van het *vrije ondernemerschap*, iedere burger moest vrij zijn in het uitoefenen van bedrijf en industrie. De staat moest *voorwaarden scheppen voor economische bloei*, zonder de economie te regelen of te beperken. Vanuit deze ideologie streefde men naar het instellen van *gespecialiseerde technische scholen* gericht op de behoeften van het bedrijfsleven. De Franse *École Polytechnique* werd gezien

4.3 Effecten in het Duitse onderwijs

Ook in andere landen kwamen vergelijkbare stromingen en tegenstellingen voor; het bijzondere van de Duitse situatie was dat beide stromingen in *verschillende* delen van het onderwijs doorwerkten. Aan de *liberalistische* wens van op nijverheid en industrie gerichte scholen werd voldaan door het stichten van *Gewerbeschulen* ($\pm$ nijverheidsscholen), polytechnische scholen, mijnbouwscholen en i.h.b. de *Technische Hochschulen* (Praag, Wenen, Karlsruhe, Braunschweig, later vele anderen). Deze opleidingen namen ook van de bestaande universiteiten de taak over om technische ambtenaren op te leiden.

Aan de *universiteiten* en de *gymnasia* werd het onderwijs hervormd volgens de ideeën van het *Neuhumanismus*. In 1810 werd de universiteit te *Berlijn* in deze nieuwe stijl opgericht. De belangrijkste verschillen met de oudere universiteiten waren:

- de *filosofische fakulteit* krijgt *promotierecht* (voorheen kon men alleen in theologie, rechten of medicijnen de doctorstitel krijgen);
- *filologie* wordt op hoog wetenschappelijk niveau bedreven en geldt als voorbeeld voor de andere wetenschappen;
- in de filologie wordt het *seminarium* als onderwijsvorm ingevoerd; daarbij werken de studenten, onder leiding van de hoogleraar, aan wetenschappelijk onderzoek;
- er geldt het principe van *leer- en studievrijheid*: de professoren bepalen zelf wat ze doceren, de studenten bepalen zelf wat ze bestuderen; bij beide geldt als eerste beoordelingskriterium: *wetenschappelijkheid*;
- gymnasiumleraren worden aan de universiteit opgeleid, daardoor wordt de stijl van het *gymnasiumonderwijs* ook sterk wetenschappelijk.

De andere universiteiten in Duitsland namen geleidelijk deze veranderingen over, in sommige gevallen gebeurde dat onder sterke *pressie* van de staat (de minister).

4.4 Gevolgen voor wiskunde

Autonome wiskunde paste goed in het waarde-systeem van het *Neuhumanismus*, wiskunde werd gezien als *schepping van de vrije geest*, en de recente ontwikkelingen in de wiskunde hadden getoond dat *hoog wetenschappelijk niveau* mogelijk was. Er waren echter in de eerste decennia van de 19e eeuw in Duitsland zeer weinig wiskundigen van dat niveau (eigenlijk alleen C. F. Gauss 1777-1855). Door een actief benoemingsbeleid van het minis-

meestal bestond uit: analytische meetkunde, elementaire differentiaal- en integraalrekening, kegelsneden, mechanica, statica, hydromechanica.

4.5 Gevolgen voor wiskundigen

In verband met de opkomst van universitaire autonome wiskunde ontstonden nieuwe beroepsmogelijkheden voor wiskundigen: *universitair hoogleraar*, en *gymnasiumleraar*. Voor de hoogleraarspositie was de *competitie* groot. Het selectiekriterium was vooral *wetenschappelijke productiviteit*.

Door de grote nadruk op wetenschappelijkheid werd aan de universiteiten nauwelijks aandacht geschonken aan toepassingen van de wiskunde. Er groeide een *kloof* tussen universitaire wiskunde en de wiskunde bedreven aan Technische Hochschulen in het kader van de ingenieursopleiding.

4.6 Andere landen

De ontwikkelingen in Duitsland leidden tot grote bloei van de autonome wiskunde: *Duitsland* (vooral de universiteiten van *Berlijn* en *Göttingen*) werd internationaal gezien het *centrum* der wiskundige activiteit (dat bleef zo tot Hitler's machtsovername in 1933, waarna veel Duitse wiskundigen uitweken). In *Frankrijk* en *Engeland* was er niet zo'n sterke nadruk op universitaire autonome wiskunde, daar was ook minder sprake van een kloof tussen autonome wiskunde en toegepaste wiskunde. In de *Verenigde Staten* ontstond pas tegen het einde van de 19e eeuw een universitaire wiskunde van enige betekenis.

Na de tweede wereldoorlog lag de grootste wiskundige activiteit in de *Verenigde Staten*. Door de versterkte *kommunicatie* en door het ontstaan van vele wiskundige centra buiten Europa en Noord-Amerika, is wiskunde meer en meer een *internationale* activiteit geworden.

4.7 Ontwikkelingen in de autonome wiskunde

In de autonome wiskunde aan de Duitse universiteiten lag in het begin de nadruk vooral op analytische onderwerpen (zie §4, de colleges van Jacobi). K. Weierstrass (1815-1897) en B. Riemann (1826-1866) leverden belangrijke bijdragen aan de analyse. Daarnaast kwam in de tweede helft van de 19e eeuw vooral de algebra op (R. Dedekind (1831-1916) en L. Kronecker (1823-1891)). In de eerste helft van de twintigste eeuw (in het bijzonder door het werk van D. Hilbert (1862-1943) en E. Noether (1882-1935)) ontwikkelde deze

Het succes van de studie van *structuren* in de algebra leidde in de jaren vóór en na de tweede wereldoorlog ertoe dat men ook in andere gebieden van de wiskunde (analyse, topologie) vooral met axiomatisch ingevoerde structuren ging werken. *N. Bourbaki* (pseudoniem van een ca. 1935 opgerichte groep Franse wiskundigen) propageert in het invloedrijke samenvattende werk *Elements de Mathématique* (in delen versijjnend sinds 1939) nadrukkelijk deze axiomatische opvatting van wiskunde: de *grondbegrippen* van de wiskunde zijn *verzamelingen* en *functies*; met behulp daarvan voert de wiskundige *axiomatisch* allerlei *structuren* in, die hij dan bestudeert. Deze visie op wiskunde heeft grote invloed gehad in de jaren na de 2e wereldoorlog.

De invloed van de axiomatische visie op wiskunde is later verminderd vooral omdat wiskundigen in verband met *speciale problemen in de Analyse*, met *numerieke analyse* en met *computers*, geconfronteerd werden met boeiende problematieken waarvoor de axiomatische aanpak niet voldoende resultaten bood.