

Ir. A. P. C. VAN HEESEWIJK

**ONTWERPEN, EEN
INTEGREREND KEUZEPROCES**

ONTWERPEN, EEN INTEGREREND KEUZEPROCES

OPENBARE VOORDRACHT
GEHOUDEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET
AMBT VAN GEWOON LECTOR IN DE AFDE-
LING DER WERKTUIGBOUWKUNDE AAN DE
TECHNISCHE HOGESCHOOL TE DELFT OM
ONDERWIJS TE GEVEN IN DE CONSTRUCTIE-
LEER OP VRIJDAG 25 APRIL 1969

DOOR

Ir. A. P. C. VAN HEESEWIJK



UITGEVERIJ WALTMAN - HIPPOLYTUSBUURT 4 - DELFT

*Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Rector Magnificus,
Mijne Heren Hoogleraren,
Dames en Heren Lectoren,
Dames en Heren leden van de Wetenschappelijke Staf,
Dames en Heren leden van de Technische, Administratieve en
Huishoudelijke Staf,
Dames en Heren Studenten,
en voorts U allen die door Uw aanwezigheid blijk geeft van
Uw belangstelling,*

Zeer geachte Toehoorders,

Het onderwijs in het werktuigbouwkundig ontwerpen is de laatste jaren sterk in beweging.

In Engeland had men na de tweede wereldoorlog de tijd ten opzichte van het continent veel verder dan het gebruikelijke uur teruggezet. Het onderwijs in de constructie was op de hogescholen vrijwel geheel verwaarloosd. Men is daar echter tot het inzicht gekomen dat men met enkel theoretische kennis de economie niet gezond kan houden.

Engeland heeft vele en goede constructeurs nodig om het in de voortdurend verscherpende concurrentiestrijd met de continentale industrieën, ook in eigen land, verloren terrein te herwinnen.

Dit besef heeft er toe geleid dat in mei 1962 door het Department of Scientific and Industrial Research een Commissie onder voorzitterschap van Mr. G. B. R. FEILDEN werd geïnstalleerd. Zij verkreeg onder meer de opdracht aanbevelingen te doen voor de verbetering van de opleiding en training van werktuigbouwkundige constructeurs. Spoedig daarna ontbrandden de discussies over dit onderwerp. Vooral de heftig kritiek uitlokkende voordracht van prof. BISHOP: „On the teaching of design in universities” gaf een positieve bijdrage tot de meningvorming¹⁾.

¹⁾ De getallen tussen [] verwijzen naar de literatuuropgave op bladzijde 25.

Ongewoon snel, reeds in juli 1963 bracht de commissie FEILDEN rapport uit [2].

Vrijwel tegelijkertijd was in Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland het onderwijs in het construeren een even intensief gespreksthema [3].

De aanleiding hiertoe was in wezen dezelfde. Ook hier het zich manifesterende gebrek aan constructeurs; ook hier de zich verscherpende concurrentiepositie in het binnenland en met het buitenland en het steeds verder verdringen van de constructieve vakken in de opleiding door de theoretische.

Een van de aanwijzingen voor dit gebrek aan constructeurs met voldoende visie zijn de in 1962 door de Duitse industrieën ontvangen en uitgegeven bedragen voor buitenlandse licentierechten. Uitgegeven werd 741 miljoen D.M.; ontvangen 209 miljoen D.M., een nadelig saldo van ruim 500 miljoen D.M. [4].

Bovendien ambieerden te weinig jonge ingenieurs het beroep van constructeur omdat op de hogescholen zelf onvoldoende interesse werd opgewekt en in de industrie de waardering en bezoldiging ten opzichte van research- en verkoopsingenieurs sterk waren achtergebleven. De overwaardering van deze laatste categorieën ten opzichte van de constructeurs blijkt overigens vrijwel overal een bekend modeverschijnsel te zijn.

Als resultaat van besprekingen en discussies kwamen in 1967 aanbevelingen van de VDI-Fachgruppe Konstruktion tot stand. Onder andere wordt hierin aan de Technische Hogescholen gevraagd om het onderwijs in de constructie nieuwe achtergronden te geven [5].

Dat ook in andere landen het probleem van de constructieve opleiding en werkzaamheid veel aandacht heeft, bewijzen onder meer de European and United States Engineering Conference in 1966 te Kopenhagen; de constructeursconferentie in 1967 te Praag; de rede uitgesproken door prof. KOOLEN ter gelegenheid van de honderdzesentwintigste herdenking van de Dië Natalis van onze Technische Hogeschool op 13 januari 1968 en vele, vele andere publikaties [6, 7].

Een groot winstpunt van dit alles is dat men tot de erkenning is gekomen dat aan het onderwijs in het ontwerpen aan de hogescholen een eigen plaats kan en moet worden toegewezen. Aan deze uitspraak is echter de bindende voorwaarde gekoppeld dat het geven van dit onderwijs niet op de oude voet kan worden

voortgezet, doch dat dit meer gericht moet worden op het wezen van het ontwerpen.

Er rijst dus onmiddellijk de vraag: Wat is het wezen van het ontwerpen?

Hiertoe dient een analyse van het ontwerpproces gemaakt te worden.

De aanleiding

In het algemeen zal bij de mens slechts van activiteit sprake zijn als hij daartoe een aanleiding ziet. Eveneens zal het ontwerpproces pas een aanvang nemen indien daartoe een aanleiding bestaat.

Deze aanleiding is hier een bestaande of bij het publiek vermeende behoefte. Bestaat een dergelijke behoefte bij een bedrijf of een dienst en is hierin niet rechtstreeks door een handelsartikel te voorzien, dan zal men zich tot geschikt geachte leveranciers wenden. Gaat het om een bij het publiek vermeende behoefte dan zal via een marktonderzoek moeten worden gepeild of en in welke mate deze behoefte werkelijk aanwezig is.

Het ontwerpproces begint nu vanuit deze behoefte en zal tot een eindprodukt dienen te leiden, dat onder de gegeven toepassingsomstandigheden optimaal het voorzien in deze behoefte beoogt.

De ontwerper krijgt hierbij de behoefteomschrijving aangeboden in de vorm van een specificatie van eisen, waaraan het te ontwerpen produkt bij voorkeur zal moeten voldoen. Als regel wordt hij reeds hier in een conflictsituatie geplaatst doordat tegenstrijdige eisen gesteld worden of zelfs meer geëist wordt als mogelijk is; het bekende schaap met de vijf poten is ook in constructeurskringen geen onbekend begrip.

Als extreem wordt door prof. BISHOP gesteld dat het te ontwerpen produkt aan de volgende eisen zal moeten voldoen:

- de levensduur moet oneindig groot zijn;
- de kostprijs moet nihil zijn;
- het moet gewichts- en dimensieloos zijn;
- het moet verliesloos werken;
- het moet een extreme schoonheid bezitten, terwijl tenslotte geen tijd nodig mag zijn om het te ontwerpen en te vervaardigen.

Het is duidelijk dat toetsing van de eisen op noodzakelijkheid en op kostenaspecten nodig is. Door overleg tussen toekomstige opdrachtgever en ontwerper zal het definitieve programma van eisen moeten worden vastgesteld. Dit vormt dan het uitgangspunt van het nu volgende ontwerpproces.

Het ontwerpproces

Een beknopte analyse van het ontwerpproces wordt gegeven door prof. LE CLERCQ in zijn voordracht „Specifieke vormgeving als middel tot ontwikkeling van gelaste constructies” [8]. Hierin wordt door hem het volgende gesteld:

„De functie van een constructie berust op fysische verschijnselen; voor zover geen traditionele oplossingen als voorbeeld kunnen dienen, moet een keuze worden gemaakt uit de mogelijkheden welke de fysica biedt, waarbij doelmatigheid en kosten belangrijke overwegingen zijn. De gedane keuze vormt het idee waarop de constructie zal berusten. Om verlangde fysische verschijnselen teweeg te brengen zijn materiële onderdelen of constructie-elementen nodig.

De materiële basis van de constructie-elementen wordt gevormd door voor het doel geschikte materialen. Deze geschiktheid is van algemene aard; bijzondere geschiktheid voor een bepaald doel wordt verkregen door aan het materiaal een passende vorm te geven; het materiaal dient als drager van de vorm.

Behalve de functie als zodanig wordt daarvan tevens een bepaalde omvang of prestatie verlangd. Dit kan worden bereikt door aan de gekozen vormen der constructie-elementen passende hoofdafmetingen te geven.

Met behulp van de voorlopig bepaalde constructie-elementen kan in beginsel worden aangegeven hoe het gekozen idee gerealiseerd kan worden in een principe-constructie.

De eerste fase van het ontwerpen welke de analyse van de behoefte, de keuze van het idee en het principe van de realisering omvat, wordt concipiëren genoemd.

De tweede fase, het construeren is gericht op verwezenlijking van de principe-constructie en heeft als einddoel het verstrekken van de volledige informatie voor de daadwerkelijke uitvoering.

Het construeren heeft als uitgangspunt een analyse van de belasting waaronder in de meest algemene zin wordt verstaan

het geheel der uitwendige fysische oorzaken welke aan een constructie een bepaalde kwantitatieve werking opleggen en die bij overschrijden van een zekere waarde (overbelasting), de constructie doen bezwijken.

Voor de bestendigheid tegen belasting zijn in de eerste plaats van belang de eigenschappen van het toegepaste materiaal, dat daardoor zijn meest essentiële taak vervult.

Voor zover uitsluitend sprake is van mechanische belasting, wordt de belastbaarheid bepaald door de eigenschappen en de afmetingen van het materiaal en in sommige belastingsgeval- len tevens door de geometrische vorm van de dwarsdoorsnede, dus door 3 variabelen. Daarvan kunnen er, binnen het kader van de mogelijkheden, 2 onafhankelijk gekozen worden waaruit de derde volgt.

Het optimum kan niet langs exacte weg worden gevonden; de nodige aanvullende criteria volgen in de eerste plaats uit de toepassingsomstandigheden en de kosten.

De kosten van materiaal en vormgeving hangen nauw samen met de technologie der vervaardiging, waarvan de keuze de definitieve materiaal- en vormkeuze mede bepaalt.

Door zinvolle groepering van de aldus nader bepaalde constructie-elementen, ontstaat het voorontwerp dat is gebaseerd op functie en belasting en dat reeds in grote trekken de latere uitvoering weergeeft.

Een volgende stap is de analyse der fysische verschijnselen welke het samenwerken der constructie-elementen begeleiden en die van groot belang zijn voor functie en levensduur van de constructie. De toepassingsomstandigheden bepalen in grote mate de te stellen eisen. Door het plaatselijk toepassen van bijzondere materialen en het plaatselijk verhogen van de nauwkeurigheid van vorm en afmetingen door middel van extra bewerkingen, tracht de constructeur zo goed mogelijk aan de eisen te voldoen.

Aldus ontstaat het definitieve ontwerp dat tenslotte wordt gecompleteerd en voorzien van alle gegevens welke voor de uitvoering nodig zijn.

De geschetste keten van het ontwerpproces wordt niet altijd volledig gevolgd. Soms wordt een kortere keten doorlopen b.v. wanneer voorbeelden aanwezig zijn waarvan de conceptie wordt

nagevolgd. Het ontwerpproces werd slechts in hoofdlijnen en sterk geschematiseerd beschreven. Het geeft in grote trekken het ontwerpen van constructies weer in alle takken van techniek."

De geschetste gang van zaken is in fig. 1 in een tijdschema weer-gegeven.

Een analogie

Voorgaande analyse houdt in dat de totstandkoming van een ontwerp in verschillende stadia plaatsvindt. Ontwerpen is een proces dat in stappen wordt afgelegd. Hierbij is iedere volgende stap een logische voortzetting van de voorafgaande en brengt het proces nader tot het einddoel: het produktierijpe optimale ontwerp.

Uitgangspunt van het proces is het programma van eisen; einddoel het produktierijp ontwerp.

Deze opvatting als stappenproces maakt het mogelijk om ten-einde een goede voorstelling van het ontwerpproces te verkrijgen een vergelijking te treffen met een analoge technische procedure: het montageproces aan een lopende band. Ook hier is een opdracht, de werkorder, het startsein voor het proces en het einddoel eveneens een gereed produkt. Ook hier vindt het proces in elkaar logisch opvolgende stappen plaats.

Bij de lopende band is de nodige onderdelenvoorraad, door niet aan het proces deelnemende personen, naast de band aangevoerd en binnen handbereik opgeslagen. In het algemeen is deze voorraad ordelijk en overzichtelijk gestapeld in afzonderlijke rekken, bakjes en dergelijke.

Bij het onderwijs in het ontwerpen vormen de grotendeels door andere docenten onderwezen basisvakken het uitgangsmateriaal. Het is hierbij van essentieel belang de stof in deze vakken zo goed mogelijk af te stemmen op de eisen van het ontwerpproces, en zich niet uitsluitend te richten op zuiver wetenschappelijke achtergronden.

Voor het opslaan van de informatievoorraad uit deze basisvakken naast de band is in plaats van de bakken en rekken een meer geschikt model te vinden, dat bovendien geheel in de sfeer van de constructie past: de kogelbus of het langskogellager (fig. 2).

Elk basisvak kan worden voorgesteld als een compleet lager.

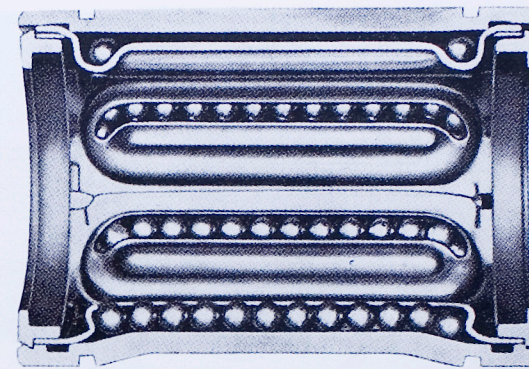


Fig. 2 Langs kogellager als onderdeel van het model voor een kenniselement (overgenomen uit Katalogus 41 64 Deutsche Star Kugellager B. m. b. H. Schweinfurt).

De afzonderlijke onderwerpen van het vak zijn te vergelijken met een kogelbaan van het lager, waarin de hoofdstukken zich aaneenrijen, zoals de kogels in de baan.

Zo worden bijvoorbeeld voor het basisvak natuurkunde de banen ingenomen door warmteleer, theoretische mechanica, optica, geluid, elektriciteit en magnetisme enz. De hoofdstukken uit de theoretische mechanica: statica, kinematica, dynamica, enz. worden door de kogels voorgesteld.

Bij zijn aankomst op de hogeschool is bij de student reeds basiskennis aanwezig, zij het in geringere mate als wij ons dat zouden wensen. De lagers hebben dan nog kleine afmetingen, omdat de kennis van ieder hoofdstuk beperkt is; de kogel heeft een kleine diameter (fig. 3 links).

In de loop der jaren zal de kennis per basisvak toenemen; er worden nieuwe onderwerpen en hoofdstukken toegevoegd, zodat het aantal banen groter wordt en het aantal kogels per baan toeneemt. Ook kan bij een concentrische opbouw van de leerstof elk volgend jaar de kennis per hoofdstuk worden uitgebreid en verdiept: de kogeldiameter zal dus toenemen; het lager krijgt in zijn geheel grotere afmetingen (fig. 3 rechts).

Verder worden in de loop der jaren geheel nieuwe basisvakken toegevoegd: het aantal lagers breidt zich gestaag uit.

Ons voorraadmodel zou de indruk wekken dat het bij de basisvakken om harde feitenkennis gaat. Echter niets is minder waar. De doelstelling van het wetenschappelijk onderwijs is immers

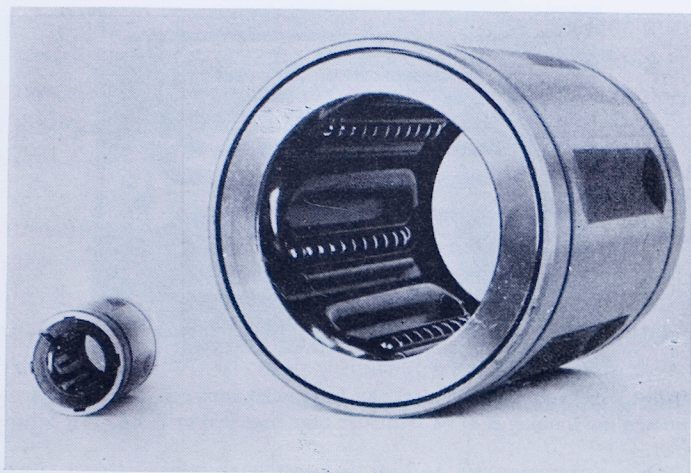


Fig. 3 Het kenniselement bij aankomst en vertrek van de Technische Hogeschool.

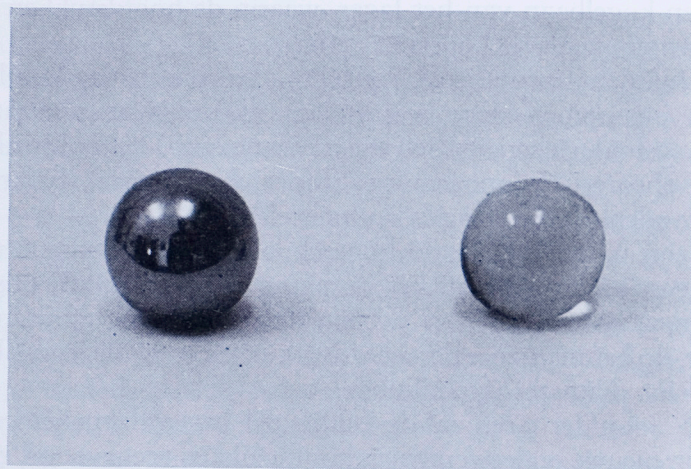


Fig. 4 Model voor harde feitenkennis en inzichtelijke kennis.

niet het aanleren van feitenkennis, doch het leren verwerven van inzicht. De harde stalen kogels in het model dienen dus vervangen te worden door kogels uit een soepel en transparant materiaal (fig. 4).

Door instructie, oefening en zelfstudie wordt door de student de stof van het basisvak meer doorzien, zij het misschien dat het beeld nog enigszins vertroebeld is; uiteindelijk dient de stof door examenvoorbereiding geheel helder te worden. We kunnen dan

ook na verloop van tijd het metaal van het lagerbuisenhuis vervangen denken door een transparant materiaal.

Op deze wijze is een model van een basiskennisreservoir verkregen. Voor de verdere beschrijving van het ontwerpproces dient, zoals we later zullen zien, het geheel uitgebreid te worden door de kogelbus over een draaibaar gelagerde as te schuiven (fig. 5).

Reeds bij de analyse van het ontwerpproces is erop gewezen dat de ontwerper zoveel mogelijk zal nagaan of er traditionele

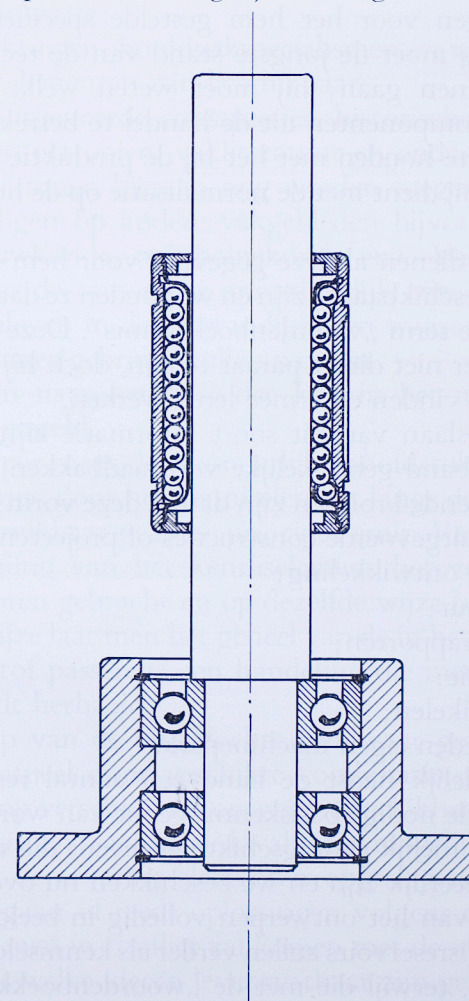


Fig. 5 Volledig model kenniselement.

oplossingen bekend zijn die hem als voorbeeld kunnen dienen. Hij dient dus zeer goed op de hoogte te zijn van de normaal gevolgde werkwijzen en hun fysische achtergronden. In de colleges werktuigen leert hij inderdaad vele van deze traditionele oplossingen kennen en doorgronden. Deze colleges nemen dan ook terecht een centrale plaats in de opleiding tot werktuigbouwkundig ingenieur in.

Toch is de kennis uit alle basisvakken tezamen nog niet voldoende om het ontwerpproces tot een goed einde te brengen. De ontwerper dient behalve dat ook na te kunnen gaan of er reeds oplossingen voor het hem gestelde specifieke probleem bekend zijn; hij moet de jongste stand van de techniek op dit gebied na kunnen gaan; hij moet weten welke constructie-elementen en componenten uit de handel te betrekken zijn; hij dient rekening te houden met het bij de produktie te betrekken machinepark; hij dient met de normalisatie op de hoogte te zijn, enz.

Bij voorkeur dienen al deze gegevens voor hem systematisch gerangschikt beschikbaar te zijn en we zouden ze daarom kunnen vatten onder de term „woordenboekkennis”. Deze kennis hoeft bij de ontwerper niet direct paraat te zijn, doch hij moet er zijn weg in kunnen vinden en ermee leren werken.

Voor het opslaan van dit soort informatie zijn de normaal bij de lopende band gebruikelijke voorraadbakken een geschikt model. De volgende bronnen zijn dan in deze vorm beschikbaar:

- overzicht uitgevoerde constructies of projecten;
- historische ontwikkeling;
- vakliteratuur;
- onderzoekrapporten;
- normalisatie;
- handelsartikelen;
- mogelijkheden eigen machinepark.

Er zijn uiteindelijk naast de band een aantal reservoirs aanwezig waaruit de nodige basiskennis geput kan worden, alsmede een schat van ordelijk gerangschikte gegevens die voor het ontwerpen onontbeerlijk zijn en we beschikken nu over een model om het proces van het ontwerpen volledig in beeld te brengen.

De basiskennisreservoirs zullen verder als kenniselementen aangeduid worden, terwijl die met de „woordenboekkennis” ervaringselementen genoemd zullen worden.

Het werk aan de lopende band is altijd verdeeld over een aantal opeenvolgende montageplaatsen. De voorraad naast de band is niet op ieder van deze plaatsen gelijk, doch aangepast aan de te verrichten handeling of montagestap. Zo zal bij het ontwerpproces, dat immers eveneens in opeenvolgende stappen plaatsvindt, de aard en het aantal der kenniselementen aangepast moeten zijn aan de te verrichten handeling.

De eerste processtap nadat de constructeur zich in de specificatie van eisen heeft ingeleefd is de keuze van het basisidee. Daartoe zijn na de voltooiing van de studie de volgende kenniselementen aanwezig:

- fysica, werktuigen, hoofdvakspecialismen en wiskunde.

Als ervaringselementen zijn beschikbaar:

- overzicht uitgevoerde constructies, historische ontwikkeling, patenten en octrooien, vakliteratuur en onderzoekrapporten.

Desgewenst kunnen hieraan nog worden toegevoegd adviezen van deskundigen op andere vakgebieden bijvoorbeeld chemie, biologie, bouwkunde, mijnbouwkunde enz. Vaak zullen deze adviezen voor de ontwerper onontbeerlijk zijn, mede om zich te kunnen inleven in de omstandigheden waaronder de te ontwerpen machines gebruikt zullen worden.

Het zoeken naar het basisidee kan in het model als volgt worden voorgesteld:

De ontwerper roept de afzonderlijke hoofdstukken per ontwerp naar voren door het kenniselement langs de as te bewegen en kiest de bruikbaar geachte principes eruit. Vervolgens wordt door verdraaiing van het kenniselement het volgende ontwerp naar voren gebracht en op dezelfde wijze behandeld.

Op deze wijze laat men het geheel van de in het kenniselement opgeslagen stof passeren; een handeling die met ieder volgend element wordt herhaald.

Met behulp van de uitgezochte bruikbaar geachte principes worden, eventueel door geschikte combinatie, basisideeën gevormd, waarop verschillende ontwerp-mogelijkheden kunnen berusten. Zij vormen tezamen de kwalitatief mogelijke oplossingen.

Met de in de ervaringselementen opgeslagen gegevens kan worden nagegaan of reeds oplossingen volgens deze ideeën bekend zijn, of men in conflict zal komen met de rechten van derden en tevens welke ideeën levensvatbaar zijn gebleken.

Veelal ziet men in de praktijk dat deze volgorde van werken

wordt omgekeerd en met de kennis uit de ervaringselementen wordt begonnen. Sommige ontwerpers volstaan hiermee zelfs of worden door gebrek aan tijd hiertoe gedwongen, om echter vaak later tot de ontdekking te komen dat bij een concurrerend bedrijf een betere oplossing is gevonden.

Het streven dient het vinden van alle mogelijkheden te zijn.

De gevonden oplossingen zullen in het algemeen niet alle gelijkwaardig zijn. Zij zullen dus onderling vergeleken en ten opzichte van elkaar gewaardeerd moeten worden: het is immers de optimale oplossing waarnaar gezocht wordt. De factoren die bij het afwegen tegen elkaar een rol spelen zijn van technische en economische aard. Genoemd kunnen worden:

- technische bruikbaarheid, doelmatigheid, eenvoud, gewicht, plaatsruimte en dergelijke als technische factoren en
- energieverbruik, fabricagekosten, onderhoudskosten, afbreukrisico en dergelijke als economische factoren.

Het is daarbij van belang zoveel mogelijk criteria aan te leggen om latere teleurstellingen te voorkomen.

Uiteindelijk zullen na dit onderling vergelijken slechts één of enkele doelmatige en betaalbare basisideeën overblijven.

Dit onderling vergelijken en gefundeerd kiezen uit een aantal mogelijke oplossingen is een van de wezenlijke kenmerken van het ontwerpproces en zal na iedere stap herhaald dienen te worden.

Het ontwerpproces kan nu met de tweede stap, het omzetten van het basisidee in een principeconstructie vervolgd worden. Bij het vormen van dit idee is immers nog niet aan materiële vormgeving gedacht. Aan het idee moet nog gestalte gegeven worden door keuze van geschikte constructie-elementen of componenten en door bepaling van de hoofdafmetingen om aan de kwantitatieve eisen te voldoen.

De hierbij te gebruiken kennis en ervaringselementen zijn vrijwel dezelfde, zij het dat ook uit de kenniselementen constructieleer en tribologie geput zal moeten worden.

Ook hier dient weer zoveel mogelijk gevarieerd en dus geselecteerd te worden.

De volgende stap in het ontwerpproces is het maken van het voorontwerp. Hier dient een analyse van de belastingen gemaakt

te worden, de vorm en fabricagemethode definitief gekozen te worden en in samenhang hiermee de te gebruiken materiaal-soorten, terwijl tenslotte de hierdoor nader bepaalde constructie-elementen zinvol gegroepeerd dienen te worden.

Hier dienen geheel andere kennis- en ervaringselementen te worden aangesproken. Het zijn de meer op toepassing gerichte basisvakken die hier een rol spelen, zoals: technische mechanica, stromingsleer, technische warmteleer, constructieleer (met inbegrip van fabricagemethoden), aandrijvingen, materialenkennis, wiskunde en hoofdvakspecialismen.

Als ervaringselementen kunnen genoemd worden: uitgevoerde constructies, normalisatie, handelsartikelen, mogelijkheden eigen machinepark, enz.

Iedere principeconstructie zal hierbij leiden tot een aantal voorontwerpen, zodat hier eveneens uit verschillende mogelijkheden gefundeerd gekozen moet worden. Het uiteindelijk als meest bruikbaar aangemerkte voorontwerp, waarin dus functie en belasting geheel vastliggen zal nu in de volgende stap verder worden uitgewerkt tot het definitieve ontwerp.

Bij het maken van het definitieve ontwerp zal de constructeur vooral lettend op de samenwerking der verschillende delen en de toepassingsomstandigheden het voorontwerp geheel afronden, daarbij gebruik makend van zijn kennis van: tribologie, metaalbewerking en andere fabricagemethoden, constructieleer en materialenkennis terwijl hij tevens put uit dezelfde ervaringsbronnen als bij het voorontwerp.

Met het definitieve ontwerp ligt de constructie volledig vast en kan als eindstap met het detailleren of uitwerken worden begonnen. Als kenniselementen zijn hierbij vrijwel uitsluitend werkplaatstechniek, constructieleer en materialenkennis nodig, terwijl als ervaringsbronnen normalisatie, materiaalcodering, afwerkingsnormen, passingen en toleranties, tekencode en dergelijke genoemd kunnen worden.

Het proces van het detailleren wordt voortgezet tot de volledige werkplaatsinformatie vastligt.

Het einde van het ontwerpproces is nu in zicht. Voordat echter een gereed produkt definitief de band verlaat vindt in het algemeen een eindcontrole plaats, terwijl vaak tussentijds op de montageplaatsen tussencontroles plaatsvinden. Wordt er iets

niet goed bevonden dan wordt het produkt teruggevoerd naar een reeds gepasseerde montageplaats. Deze procedure kent men ook bij het ontwerpproces. Ook hier zal regelmatige controle en aanpassing nodig zijn.

Ook tijdens het produktiestadium zal nog terugkoppeling met het constructiebureau wenselijk en noodzakelijk zijn, terwijl tenslotte tijdens afname en toepassing onvolkomenheden aan het licht kunnen treden die achteraf wijzigingen tot gevolg kunnen hebben.

Het gehele proces is in fig. 1 nogmaals in schema gebracht.

Taakverdeling

Opvallend in het geschetste ontwerpproces is dat bij iedere volgende stap meer gedetailleerde kennis van een lager niveau vereist is.

Het montageproces aan de band vindt echter niet alleen in verschillende stappen plaats, doch ook door verschillende personen. Voor iedere stap zijn speciale vaardigheden vereist.

Ook bij het ontwerpen zullen in het algemeen meerdere medewerkers aan het proces deelnemen. Iedere medewerker heeft daarbij zijn eigen kennispakket en vaardigheid, speciaal aangepast aan de te nemen stap, nodig. Uiteraard houdt dit in dat het opleidingsniveau der medewerkers verschilt. Globaal genomen kunnen naast de processtappen de niveaus als in fig. 1 geplaatst worden.

De student-ontwerper

Bij de beschrijving van het ontwerpproces is ervan uitgegaan dat de ontwerper de beschikking heeft over alle kennis- en ervaringselementen die voor het proces nodig zijn. Dit geldt natuurlijk in het geheel niet voor de student, die immers nog in het ontwerpproces moet worden ingevoerd.

Tevens is gesteld dat volgens de nieuwe opvattingen de taak van de ingenieur zich in het ontwerpproces uitstrekt van het mede opzetten van het programma van eisen tot en met het geven van een voorontwerp. Ogenscheinlijk dient de student zich dus niet te bekwamen in het omzetten van het voorontwerp in het definitieve ontwerp en evenmin in het detailleren.

Niets is echter minder waar! Het is nuttig en noodzakelijk dat de student zich de tekencode, het gebruik van normaalbladen en catalogi en het hanteren van alle overige ervaringselementen eigen maakt. Hij moet met deze facetten van het proces slechts kennis gemaakt hebben, doch er niet in bedreven zijn. Men moet dit zien als het praktisch werken en de oefeningen in de metaalbewerking: ook deze beogen slechts kennismaking en niet het aankweken van vaardigheden.

Hij moet er echter wel van doordrongen worden dat bij het ontwerpen details bijzonder belangrijk zijn. Het verkeerd uitvoeren of ontbreken van een enkel detail kan een constructie in haar geheel waardeloos maken.

Daarenboven zal de student zijn constructieve gedachten vlot en bekwaam door middel van schetsen over moeten kunnen brengen. De schets is immers in het ontwerpproces het communicatiemiddel bij uitstek.

Toch dient het zwaartepunt in het constructieve onderwijs tot en met kandidaatsstudie geheel te vallen op de eerder gestelde taak en dienen aan de student reeds in een zo vroeg mogelijk stadium ontwerpproblemen te worden voorgelegd.

Gezien de nog geringe inhoud van de kenniselementen zal met eenvoudige opgaven begonnen dienen te worden. Steeds moeilijker ontwerpen met toevoeging van nieuwe aspecten kunnen hierop volgen. Speciaal de creativiteit zal hierbij ontwikkeld dienen te worden.

Dikwijls wordt aangevoerd dat de student over te geringe ervaring en te weinig kostenbesef beschikt om een goed ontwerp te kunnen maken. Enerzijds betekent ervaring echter slechts een zekere mate van gewenning, die het ontwerpproces sneller doet verlopen – geheel analoog aan het geleidelijk opvoeren van de bandsnelheid bij het montageproces –, anderzijds is ervaring voornamelijk een aanvoelen van de praktische mogelijkheden en onmogelijkheden, een eigenschap die de constructeur zich vaak slechts door schade en schande eigen maakt.

Het is een der taken van de docent om dit gebrek aan ervaring bij de student goed te maken door uit zijn eigen ervaring bij te sturen.

Overigens heeft dit gebrek aan ervaring ook een positieve zijde: de student kan meer onbevangen ten opzichte van zijn taak staan.

Vrijwel overal blijkt dat de conventionele methoden die in gebruik zijn bij het constructieve onderwijs als uiterst droog worden ervaren. Voor alles zal het doel van het ontwerponderwijs daarom moeten zijn de student liefde voor het vak bij te brengen. Bij het ontwerponderwijs moet motivatie de spil zijn waar het geheel om draait. Hoe is dit te bereiken?

Een voorbeeld

Een uitstekend voorbeeld om de student bij het ontwerpproces in sterke mate te motiveren vinden we in het Project System van de University of Birmingham [9].

Bij het derdejaars eindontwerp zijn daar de ontwerpobjecten steeds laboratoriumapparaten of demonstratiemodellen. Hierbij krijgen de studenten een lijst van de ontwerpgegevens en geven hun voorkeur voor een project aan.

Zij worden, rekening houdend met hun keuze, ingedeeld in groepen van drie tot vier man. De groep staat onder leiding van een wetenschappelijke medewerker, die het ontworpen en uitgevoerde project later zal gaan gebruiken. Zijn taak is achtergrondinformatie geven, intensief contact onderhouden en samen met de groep het programma van eisen op te stellen. Hij laat de groep echter zoveel mogelijk vrij in de uitvoering.

Ieder groepslid werkt individueel een voorstel uit. De groepsvoorstellen worden onderling vergeleken, waarna het beste uit ieder voorstel wordt gehaald en gecombineerd tot het gezamenlijk definitief ontwerp.

Dit ontwerp wordt onder leiding van de groep door geselecteerde tweedejaars studenten gedetailleerd.

Doel hierbij is de functie te doorgronden, fouten in het ontwerp op te sporen en de volledige werkplaatsinformatie te verschaffen.

Tijdens de periode praktisch werken in de zomervakantie voeren deze tweedejaars studenten het project in de industrie uit. Zelf derdejaars geworden, stellen zij het in bedrijf. Achteraf vindt nog een nabespreking met de ontwerpers plaats.

Het constructief onderwijs in de eerste twee en een half jaar van de studie is er geheel op gericht om het tijdens het project-systeem te maken ontwerp geheel zelfstandig te kunnen uitvoeren.

Door de keuze van onderwerpen met praktisch nut is bereikt dat de student het ontwerpen niet meer als een droge oefening ziet, doch dat hij zich ervan bewust is een waardevolle bijdrage te kunnen leveren aan de universitaire gemeenschap in de vorm van een laboratoriumapparaat of een demonstratiemodel.

Hierdoor zijn studenten en staf sterk gemotiveerd, is het contact staf-studenten veel intensiever en kan de student beter beoordeeld worden.

Opgemerkt dient hierbij echter te worden dat de studenten na het eerste studiejaar reeds de constructieve richting kunnen kiezen, zodat het hier om studenten met meer dan de gemiddelde aanleg gaat, en dat hun aantal per cursus slechts 25 à 30 bedraagt.

Het enthousiasme bij de studenten en staf is echter zo groot dat nagegaan dient te worden of dit voorbeeld kan worden nagevolgd.

Einddoel ontwerp-onderwijs in de kandidaatsstudie

Vergelijken we de omstandigheden tussen Birmingham en Delft dan zien we dat deze in Delft aanmerkelijk gunstiger zijn. In Birmingham vertrekken de studenten direct nadat zij hun eindontwerp voltooid hebben. Zij plukken dus zelf nimmer de vruchten ervan. In Delft volgt na het afronden van de kandidaatsstudie nog een tweejarige hoofdvakstudie.

Het ligt voor de hand om na te gaan of er onderwerpen als eindopgave op de derdejaars tekenzaal gegeven kunnen worden die direct verband houden met deze eindstudie.

Deze onderwerpen kunnen door groepen studenten tot en met het definitieve ontwerp worden uitgewerkt waarbij een wetenschappelijk medewerker van het betreffende laboratorium als adviseur optreedt en eventueel noodzakelijke specialistische kennis aanreikt. Nadien kan het ontwerp door de tekenkamer van dit laboratorium worden uitgewerkt en daarna worden uitgevoerd.

Op deze wijze is het mogelijk de ontwerpers met hun eigen producten te confronteren en hen ermee te laten werken in de eindstudie.

Bij een aantal derdejaarsstudenten van ca. 160 en een groeps-grootte van vier studenten komt dit neer op 40 opgaven per jaar, dus drie per laboratorium.

Het geschetste systeem zou de volgende voordelen kunnen bieden:

- zeer sterke motivatie bij de studenten en de toezicht houdende staf.
- mogelijkheid de studenten in een vroeg stadium te betrekken in de activiteiten van de afdeling.
- beter contact tussen de staf betrokken bij de voor- en nakan-didaatsstudie.
- vervroegde kennismaking van de student met enige aspecten van zijn eventueel toekomstig hoofdvak.
- daardoor voor de student gemotiveerder hoofdvakkeuze.
- verkorting van de hoofdvakstudie doordat de vaak door de produktie veroorzaakte wachttijden in een voor de student gunstiger periode vallen.
- beschikbaar komen van een aantal voorontwerpen voor laboratoriumapparatuur of -opstellingen, met daardoor een betere keuzebepaling door het grotere aantal varianten.
- beschikbaar komen van betere selectiecriteria voor de hoofdvakdocenten.

Hiertegenover staat dat door het werken in groepsverband opkomst verplicht gesteld moet worden. Is de motivatie bij de student echter sterk genoeg dan zal er nauwelijks van enige verplichtstelling sprake behoeven te zijn.

Conclusie

Resumerend kan gesteld worden,

- dat bij het ontwerpen gebruik gemaakt wordt van alle basisvakken;
- dat de bruikbaarheid van de afzonderlijke delen van deze basisvakken voor het te ontwerpen object door een telkens herhaalde onderlinge vergelijking bepaald wordt en dus een steeds hernieuwde keuzebepaling plaatsvindt;
- dat tijdens het ontwerpproces de kennis der basisvakken in haar geheel opnieuw de revue passeert, zodat het inzicht in deze vakken verdiept wordt;

Het zal dus duidelijk zijn dat, door deze wezenlijke kenmerken van het integrerend keuzepproces ontwerpen, dit onderwijsvak zich als geen ander leent voor het bewust doorleven van de in de basisvakken gedoopte stof in haar onderlinge samenhang en

derhalve een geheel eigen plaats in het onderwijsprogramma dient in te nemen.

Hiertoe dienen echter opgaven gevonden te worden die de student sterk motiveren. De middelen hiertoe zijn aanwezig.

Zeer geachte toehoorders,

Bij de aanvaarding van mijn ambt zij het mij vergund mijn eerbiedige dank te betuigen aan Hare Majesteit de Koningin, dat Zij mij tot lector aan deze Technische Hogeschool heeft willen benoemen.

Mijne Heren Curatoren,

Nu de laatste jaren alom nieuwe inzichten in het wezen van het ontwerpproces worden verkregen en hierop het onderwijs op de Hogescholen in andere landen geleidelijk gebaseerd gaat worden, is het te verwachten dat ook bij de Nederlandse industrie een steeds grotere vraag naar goed geschoolde ingenieur-ontwerpers zal ontstaan. Voor het verkrijgen en handhaven van een gunstige concurrentiepositie zal het voor een klein land als het onze noodzakelijk zijn om te zorgen dat onze produkten constructief hoogwaardiger zijn dan die van de ons omringende grote industrielanden.

Ik beschouw het als blijk van vertrouwen dat U mij voor deze benoeming heeft willen voordragen. Mijn taak, mede de basis te leggen bij het constructieve onderwijs, hoop ik in overeenstemming met Uw verwachtingen te kunnen vervullen.

Mijne Heren Hoogleraren, Mevrouw en Mijne Heren Lectoren van de Afdeling der Werktuigbouwkunde,

Als lector in de constructieleer zal ik, gezien het sterk integrerend karakter van dit vak, zeer veel uit de door U gedoopte vakgebieden in toepassing moeten brengen. Wat toegepast moet worden heb ik van U geleerd. Daar het toepassen van het geleerde een orde-grootte moeilijker is dan het leren zelf, zal ik mij gelukkig prijzen in de toekomst van U raad en voorlichting te mogen ontvangen.

Hooggeleerde van Eldik Thieme,

Veertien jaar ben ik medewerker van Uw laboratorium geweest. Veel heb ik daarbij van U geleerd.

U heeft aan mij, zoals aan iedere andere medewerker, de gelegenheid gegeven naar eigen inzicht te werken. De eisen die U stelde aan de in Uw laboratorium te gebruiken apparatuur en beproevingsmachines waren daarbij zo veel omvattend, dat het werken op het constructieve vlak constant die uitdaging vormde die voor het maken van een goed ontwerp een der noodzakelijke voorwaarden is. Dreigde daarbij iets scheef te lopen, dan wist U steeds weer bij te sturen en te stimuleren. Ik heb daarbij een warme bewondering voor U gekregen.

U heeft mede daardoor in de loop der jaren een laboratorium opgebouwd dat zich tot de meest vooraanstaande op dit gebied mag rekenen. Ik zal er altijd trots op blijven dat ik een van de leden van Uw team geweest ben.

Hooggeleerde van der Burgt,

Ongeveer twintig jaar geleden kruisten onze wegen elkaar voor het eerst. Regelmatig zijn ze daarna uiteengegaan om weer samen te komen en zelfs soms tijdelijk parallel te blijven lopen. Wij hebben daarbij de weg in een snel tempo afgelegd. U was hierbij steeds de koploper, ik degene die probeerde Uw spoor zo goed mogelijk te volgen.

Bij onze ontmoetingen waren weinig woorden nodig om elkaar volledig te begrijpen, omdat ik mij in vele opzichten sterk met U verwant voelde.

Met mijn benoeming tot lector en mijn vertrek uit het laboratorium lijken onze wegen weer uiteen te wijken. Daar echter het ontwerpen een sterk integrerend karakter draagt en de automobiel de meest geïntegreerde constructie is die er bestaat, zal genoeg gelegenheid voor nauw contact met U aanwezig blijven. Ik zal hierbij steeds met vreugde naar de volgende kruising van onze wegen uit blijven zien.

Dames en Heren Medewerkers van het Laboratorium voor Voertuigtechniek,

Het ontwerpproces bevat vele fasen. De meeste hiervan wor-

den op de tekenkamer doorlopen. Hier was door de grote vakbekwaamheid der medewerkers een half woord reeds genoeg om tot een goede uitwerking te komen.

In mijn betoog heb ik gewezen op de vele ervaringselementen die bij het ontwerpproces een rol spelen. Ervaring krijgt men niet alleen uit eigen werk, doch veel meer uit dat van anderen. Immers na het ontwerp volgt de produktie en daarna het gebruik, beide met de terugkoppeling naar de constructie. Door velen van U is enthousiast aan de verwezenlijking van onze constructies gewerkt, hetgeen een grote steun betekende. Anderen spaarden mij hun kritiek niet indien bij het gebruik bleek dat het produkt niet aan alle verwachtingen voldeed. Wellicht was hun steun, zij het ongewild, zelfs nog groter.

Hooggeleerde le Clercq,

In de korte tijd dat ik aan Uw leerstoel verbonden ben, heb ik al veel kunnen leren van Uw inzichten in het ontwerpen en de ontwerpleer. Ik hoop snel genoeg van U te kunnen leren om U bij het moeilijke en moeizame werk dat ons wacht voldoende steun te kunnen geven.

Heren Medewerkers van de Leerstoel der Algemene Constructie,

Ik weet dat U zich uiterst kritisch zult opstellen ten opzichte van eventuele vernieuwingen in het constructieve onderwijs. Een dergelijke opstelling is zeer juist. Ik hoop dan ook dat U mij Uw opbouwende kritiek niet zult onthouden, immers het constructieve onderwijs is niet het werk van een enkeling, doch van ons hele team. Mogen onze teamgeest en samenwerking voortreffelijk zijn.

Mijne Heren Leden van de Wetenschappelijke Staf van de Afdeling der Werktuigbouwkunde,

De collegialiteit en de vriendschap die ik van U mocht ondervinden, waardeer ik ten zeerste. Uit Uw midden zijn vele goede ideeën naar voren gekomen. Gaarne zal ik op Uw ideeënrijkheid in de toekomst hernieuwd een beroep doen.

Vrienden en kennissen uit de industrie,

Met velen van U heb ik in het constructieve vlak van gedachten mogen wisselen. Voor een goede inrichting van het onderwijs is en blijft sterke voeling met de praktijk noodzakelijk. Mogen daarom ook na het verleggen van mijn werkterrein naar het onderwijsvlak onze vruchtbare en prettige contacten gehandhaafd blijven.

Dames en Heren,

Velen van U heb ik buiten mijn werk leren kennen. Omgang met anderen is een voortdurend leerproces. Ik prijs mij gelukkig dat ik juist U ontmoet heb, omdat U mij zoveel goeds geleerd heeft.

Mijn vorming, waarvoor mijn ouders de basis legden, kon dankzij de warme steun en opoffering van mijn vrouw op deze wijze afgerond worden. Ik ben hen hiervoor zeer dankbaar.

Dames en Heren Studenten,

Een ieder die met het ontwerpen te maken krijgt wordt erdoor gegrepen. Het proces bevat zoals geschetst vele facetten.

Ontwerpen bestaat voor een deel uit optimaal kiezen. Reeds als kind wist U uit een assortiment gebakjes, van gevarieerde vorm en smaak, datgene uit te kiezen dat U als het meest lekker en wellicht het meest omvangrijk voorkwam. Dit facet van het ontwerpproces zal U daarom na grondige kennismaking goed liggen.

Het ontwerpproces als geheel is te vergelijken met een feestmaal. Op zich zijn de ingrediënten der gerechten wellicht smakelijk, doch zij missen nog de samenhang die hen tot gerecht verheft. Iedere kok beseft dit en legt dan ook zijn beste krachten in het maken van de saus, die de delen tot gerecht verbindt.

Het ontwerpen is de saus waarmee de basiscolleges moeten worden overgoten om ze tot een integrerend geheel te verheffen.

Een eerste vereiste om U deze saus te leren bereiden is motivatie. Mogen wij er in slagen elkaar wederzijds voldoende te motiveren om Uw opleiding hier prettig en succesvol te laten verlopen.

Ik dank U allen voor Uw aandacht.

1. BISHOP, R. E. D.: On the teaching of design in universities, Proc. Inst. Mech. Eng., Vol. 177 (1963), nr. 27, blz. 719—774.
2. COMM. FEILDEN: Report of committee on engineering design, Department of scientific and industrial research, London 1963.
3. Engpass Konstruktion, Konstruktion 15 (1963), Heft 11; blz. 433—443; Heft 12, blz. 473—481; 16 (1964), Heft 7, blz. 245—265.
4. SASS, F.: Über den Konstruktionsunterricht an Technischen Hochschulen, Konstruktion 15 (1963), Heft 12, blz. 481—482.
5. N.N.: Aus der Arbeit der VD1 Fachgruppe Konstruktion Engpass Konstruktion, Empfehlungen an die Technischen Hochschulen, die Ingenieurschulen und die Industrie, Konstruktion 19 (1967), Heft 5, blz. 192—195.
6. OTT, J.: Konferenz der Konstrukteure in Prag, Konstruktion 20 (1968), Heft 5 blz. 187—189.
7. KOOLEN, D. A. A.: De werktuigkundige ingenieur-constructeur. Rede uitgesproken ter gelegenheid van de honderdzesentwintigste herdenking van de Dies Natalis der Technische Hogeschool Delft op 13 januari 1968, De Ingenieur 80 (1968), nr. 12. blz. A163—A167.
8. LE CLERCQ, H.: Ontwerp en vormgeving, De Constructeur, VII (1968) nr. 12, blz. 33—35.
9. HAYES, S. V. en TOBIAS, S. A.: The project method of teaching creative mechanical engineering, Proc. Inst. Mech. Eng., 179 (1964—'65) Part I, blz. 81—134.

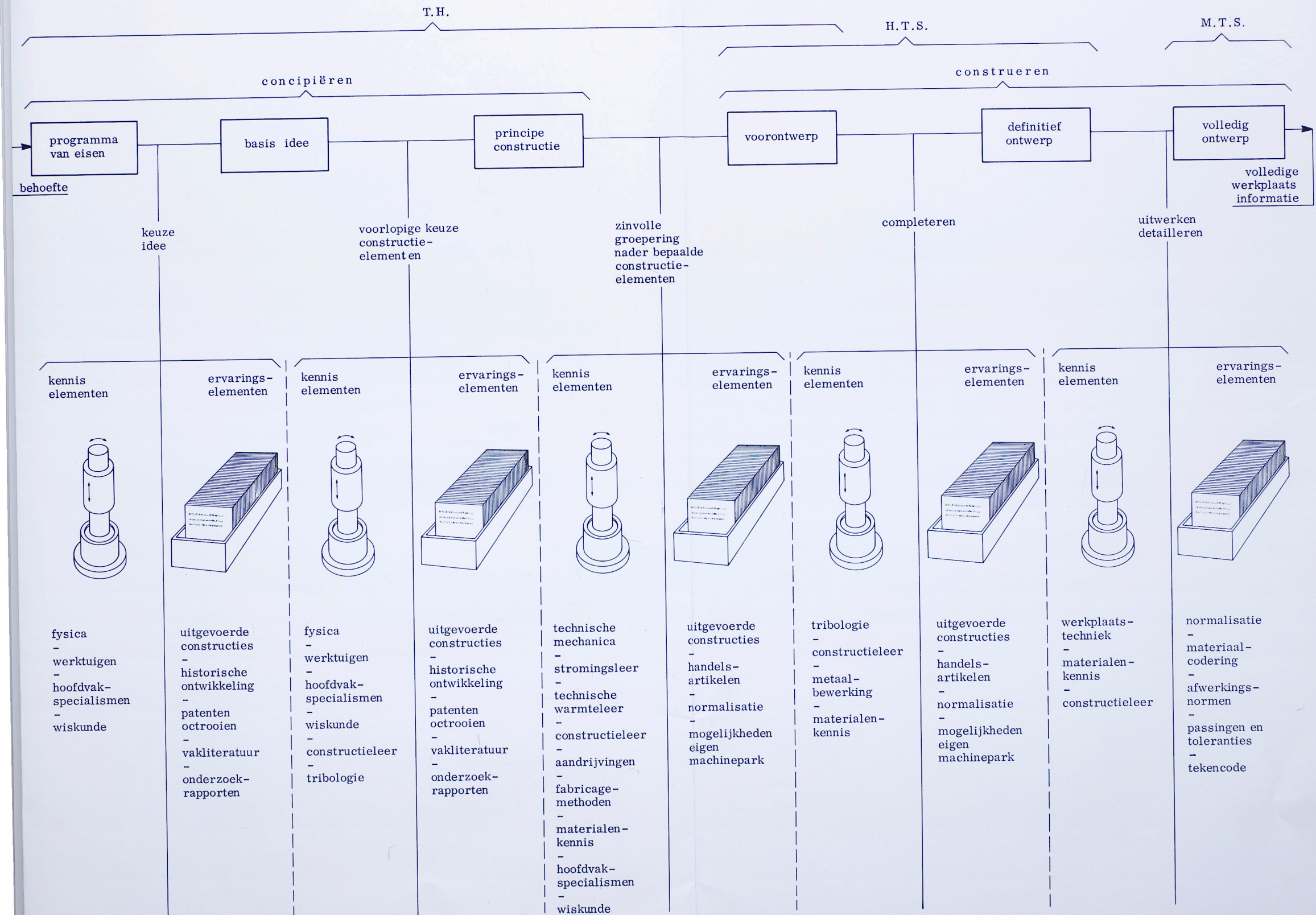


fig. 1 Schema ontwerpproces