

## "Procescalculus" : nieuw instrument beschrijft industriële systemen

**Citation for published version (APA):**

Rooda, J. E. (1991). "Procescalculus" : nieuw instrument beschrijft industriële systemen. *I-twee werktuigbouwkunde*, 7(5), 13-15.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1991

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# “Procescalculus”: nieuw instrument beschrijft industriële systemen

De wijze van transformeren (= fabriceren) en transporteren vertoont op dit moment kenmerken die behoren bij drie tijdperken: de periode voor de eerste industriële revolutie (voor 1800), de periode na de eerste industriële revolutie en die voor het gebruik van computers (van 1800 tot 1980) en de huidige (vanaf 1980). Men zou ook kunnen spreken van een agrarisch/ambachtelijk tijdperk, waarin de mens zich alleen met de materie heeft beziggehouden, van een industrieel tijdperk, waarin hij zich zowel met materie als met energie heeft beziggehouden, en van een post-industrieel tijdperk, waarin hij zich zowel met materie, energie als met (gecomputeriseerde) informatie bezighoudt. In ieder tijdvak heeft de mens een aantal concepten, technieken en uitvoeringsvormen ontwikkeld om zijn dagelijkse problemen het hoofd te kunnen bieden. Al deze veranderingen hebben ertoe bijgedragen dat de westerse maatschappij zich heeft geëvolueerd van een wereld van nomaden tot een hoog geïndustrialiseerde samenleving. De ontwikkelingen die de wereld heeft doorgemaakt zijn steeds beïnvloed door de wijze waarop de mens zijn wereld beschouwt en naar zijn werkelijkheid kijkt. Ter illustratie het volgende: wat maakt het uit of de zon om de aarde draait indien men slechts de aarde en de zon beschouwt? Het wordt pas lastig als men meerdere planeten in zijn beschouwing wil betrekken. Een bepaalde gedachtingang kan jarenlang standhouden, ook al wordt wel vermoed dat deze eigenlijk niet optimaal meer is. Pas wanneer verschijnselen in de beschouwing worden meegenomen die het fenomeen niet langer voldoende kunnen

verklaren, overweegt men om van beschouwingwijze of paradigma te veranderen. Zo is het ook met het vinden van oplossingen in een fysisch-technische wereld. Dat we zoveel spullen om ons heen zien, zou kunnen betekenen dat we er met het huidige paradigma aardig in zijn geslaagd om alles wat wenselijk is te transformeren en te transporteren. Door de hogere eisen die worden gesteld aan het transformeren en transporteren van producten en door de mogelijkheden die daarbij door computers worden geboden, lijkt het er echter op dat zich binnen afzienbare tijd een nieuwe beschouwingwijze gaat manifesteren.

Aan de hand van twee voorbeelden zullen we illustreren dat het huidige paradigma bezig is plaats te maken voor een nieuw. De ene illustratie heeft betrekking op machines en de wijze waarop deze worden bestuurd. De andere op fabrieken, dus een verzameling middelen, zoals mensen en machines, en op de wijze waarop deze worden bestuurd. In beide gevallen beperk ik mij tot de discrete produktie, zoals de auto- of de elektronica-industrie. Een analoge redenering kan worden ontwikkeld voor de continue pro-

In het eerste deel van dit artikel zet de auteur uiteen waarom de huidige wijze waarop we industriële systemen beschouwen niet meer adequaat is. Hij maakt aannemelijk dat er behoefte is aan een nieuw wiskundig paradigma waarmee deze systemen kunnen worden beschreven. Hij introduceert de procescalculi. Om de reikwijdte van dit nieuwe instrument voor de industriële produktie aan te geven, volgt in het tweede deel van deze bijdrage een indeling van het vakgebied van de industriële produktie. Bij die indeling gebruikt de auteur een matrix waarin de verschillende vakgebieden en levensfasen van een industrieel systeem worden aangegeven.

duktie, zoals de petrochemische- of de voedingsmiddelen-industrie.

## Machines

Karakteristiek voor de ontwikkeling van de techniek is de voortschrijdende mechanisering van de arbeid. De katoenindustrie aan het eind van de achttiende eeuw levert mooie voorbeelden, zoals de "spinning jenny", het "water frame", de "mule" en de "power loom". Deze machines werden aangedreven door weinig bedrijfszekere energiebronnen als wind, water, dier of mens. De verbeteringen van Watt aan de "fire-engine" van Newcomen brachten de mechanisering in een stroomversnelling. Enerzijds werden er machines ontwikkeld om de arbeid te mechaniseren en anderzijds werden besturingen voor deze machines ontworpen. Voorbeelden van besturingen van het eerste uur zijn de reguleur van Watt en tal van stangen- en nokken-mechanismen. Deze specifieke machinegebonden besturingen werden later in sommige gevallen vervangen door meer universele, zoals pneumatische en hydraulische besturingen. Door de opkomst van de elektromotor ontstonden er naast deze regelingen ook ver-

J.E. ROODA

Prof. dr. ir. J.E. Rooda is hoogleraar  
Werktuigbouwkunde aan de Technische  
Universiteit Eindhoven

Fabrieksbesturing

Machinebesturing

Besturingstechnologie

Transporteren

Transformeren

Bewerkingstechnologie

Fig. 1.  
Het vakgebied van de industriële productie

schillende elektrische: de relais- en schakeltechniek deden hun intrede. Ten gevolge van de toenemende complexiteit van de machines nam het aantal relais drastisch toe. Het bleek vervolgens betrekkelijk eenvoudig om de schakellogica te implementeren op een computer. Zo ontstonden de PLC's (Programmable Logic Controllers). De simpele manier van programmeren van PLC's maakte het daarna mogelijk om nog complexere machines te besturen. Naarmate de machines groter worden, gaat zich echter het probleem voordoen dat de programmatuur onoverzichtelijk wordt. Wat is hiervan de oorzaak? In het kort komt het erop neer dat een PLC van een volledig sequentiële afloop van het in de PLC opgeslagen programma uitgaat, terwijl een machine met al zijn processen zich niet sequentieel gedraagt. De verschillende processen voltrekken zich immers gelijktijdig. Het lijkt dan ook gerechtvaardigd om een beschouwingswijze te introduceren waarbij het simultane karakter van de processen in de machine wordt betrokken.

#### Fabrieken

De tweede illustratie heeft betrekking op een verzameling middelen, zoals mensen en machines, kortweg fabrieken. Karakteristiek voor de ontwikkeling van fabrieken is de steeds verdergaande arbeidsdeling. Het positieve effect daarvan op de produktiviteit is al in de achttiende eeuw door Adam Smith onderstreept. Rond 1800 voerde Wedgwood als een van de eersten deze nieuwe wijze van produceren in. In zijn porseleinfabriek volgde de pottenbakker niet langer zijn produkt, maar voerde hij slechts een enkele handeling uit. Lange tijd heeft men gestreefd naar meer en efficiëntere produktiestappen zonder daarbij aandacht te beste-

den aan de samenwerkingsverbanden tussen deze stappen. Men is als het ware bezig geweest steeds meer delen te onderscheiden zonder zich te bekommeren om de verbanden tussen deze delen. Dat men onderkent dat er organisatorisch meer aan de hand is dan alleen de tot standkoming van het produkt, blijkt uit de grote belangstelling voor MRP (Material Requirement/ Resource Planning), Kanban (Japans kaartje) en JIT (Just In Time). Deze planningsmethoden zijn gebaseerd op een integrale goederenstroombesturing. Voor massafabricage zijn met deze benadering reeds goede resultaten geboekt. Andere produktievormen zijn echter minder eenvoudig op een dergelijke wijze te beheersen. Met name bij de flexibele productie komt het probleem van een "optimale" planning pijnlijk naar voren. Hoewel de flexibele produktiewijze technologisch gezien inderdaad uitermate flexibel kan zijn, reduceren ontoereikende planningsmethodieken deze produktiewijze tot een star geheel. Het lukt slechts moeizaam om een geschikte planning op te stellen, waarbij het nog de vraag is in hoeverre de gevonden strategie optimaal is. Het is overigens niet verwonderlijk dat dit probleem zo duidelijk aan het licht komt bij de flexibele productie. In tegenstelling tot de massaproductie is die gericht op kleinseries en enkelstuks-productie. Een machinefabriek en een "integrated-circuits" producerende fabriek zijn op te vatten als zo'n vorm van flexibele productie. Het is bekend dat zowel een "klassieke" machinefabriek als een "moderne" chipfabriek altijd een wat onoverzichtelijke indruk wekken. Dit komt doordat er tegelijktijd aan verschillende typen onderdelen wordt gewerkt, waardoor de organisatie op de werkvloer veel improvisatie en aanpassingsvermogen vereist. De verschillende delen zijn niet alleen via goederenstromen met elkaar verbonden, maar tevens via technisch vakmanschap en organisatorisch inzicht van de mensen. Het zijn juist deze aspecten die het zo moeilijk maken om zo'n fabriek te automatiseren. Sinds computers hun intrede hebben gedaan, is men zich bewust van het feit dat de afzonderlijke produktiestappen niet alleen via goederenstromen, maar tevens via technisch-organisatorische aspecten met elkaar verband houden. Het zal duidelijk zijn dat het niet juist is om deze aspecten met behulp van een produktgerichte benadering mee te nemen, daar zij niet produkt- maar procesgebonden zijn. Pogingen om de besturing van de productie met sequentiële middelen te beschrijven voldoen evenmin, omdat het gehele produktieproces niet als zodanig kan worden opgevat. Met andere woorden: de gedachtengang dat de verzameling mensen en machines zich simultaan gedraagt, is essentieel.

Wanneer we dieper nadenken over het feit

waarom het zo moeilijk is om machines en fabrieken te beschouwen en te besturen, dan kunnen we concluderen dat dit te maken heeft met het feit dat zowel in machines als in fabrieken veel gelijktijdige handelingen plaatsvinden. De concepten en technieken die tot op heden zijn ontwikkeld gaan voorbij aan dit gelijktijdige karakter.

#### Indeling industrieel systeem

Het doel van een industrieel systeem is om materie te transformeren of te transporteren. Deze processen kunnen zich op discrete wijze voltrekken met stukgoederen (en levende wezens), of op continue wijze, met stortgoederen, vloeistoffen en gassen. Steeds meer ziet men in een totale produktiefaciliteit beide wijzen van productie naast elkaar bestaan. In de literatuur vindt men verschillende soorten indelingen van de productie. De indeling die hier is gekozen gaat uit van produktievakgebieden en van de levensfasen van een industrieel systeem. Deze keuze is geschikt om het toepassingsgebied van de procescalculi te illustreren.

#### Vakgebieden

Het vakgebied van de industriële productie, de produktietechnologie, bestaat uit de bewerkingstechnologie en de besturingstechnologie. Het vakgebied van de bewerkingstechnologie bestaat uit het deelvakgebied van het transformeren van materialen en het deelvakgebied van het transporteren van materialen. Deze twee deelvakgebieden

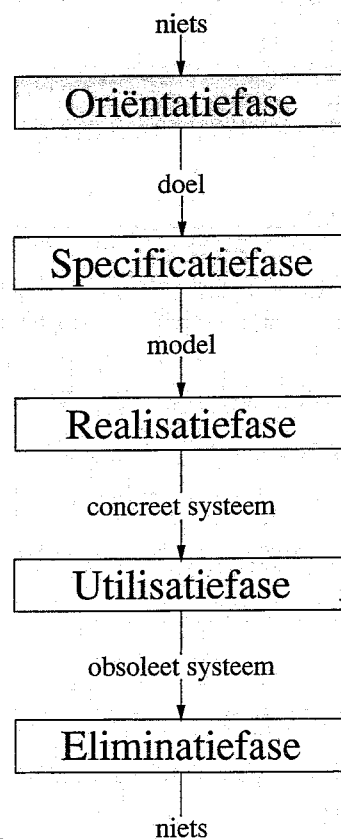


Fig. 2.  
De levensfasen van een industrieel systeem

staan naast elkaar. Ze kunnen onafhankelijk van elkaar worden bestudeerd. Een overzicht van de verschillende vormen van transformeren met de daarbij behorende werktuigen geeft Kalpakjian [1989]. Een overzicht van de verschillende vormen van transporteren en werktuigen wordt gegeven door De Jong en Roessel (eds.) [1985]. Het vakgebied van de besturingstechnologie bestaat uit het deelvakgebied van de machinebesturingstechnologie en het deelvakgebied van de fabrieksbesturingstechnologie. Deze twee deelvakgebieden staan boven elkaar. Fabrieksbesturingen kunnen hiërarchisch boven machinebesturingen worden gedacht. Zo houden fabrieksbesturingen zich bezig met de afstemming van de verschillende machines, terwijl machinebesturingen zich bezig houden met het besturen van een afzonderlijke machine. Op het gebied van de machinebesturingstechnologie treft men een veelheid van literatuur aan over (regel-)algoritmen, real-time besturingen en protocollen. Producenten van transducenten en computers leveren beschrijvingen van uitvoeringsvormen. Een aardige inleiding m.b.t. het specificeren van fabrieken wordt gegeven door Buffa en Sarin [1987]. M.b.t. het besturen en automatiseren van (delen van) fabrieken is veel literatuur beschikbaar. In figuur 1 is de indeling van de (deel-)vakgebieden schematisch weergegeven.

#### Levensfasen

Ieder industrieel systeem doorloopt een vijftal fasen. De eerste levensfase van een systeem, de oriëntatiefase, bestaat uit de constatering dat men behoefte heeft aan een systeem dat er nog niet is. Men kan zeggen dat vanuit het niets de bewustwording ontstaat dat men een industrieel systeem wil realiseren om daar bijvoorbeeld een produkt mee te fabriceren. De oriëntatiefase kan als beëindigd worden beschouwd wanneer het

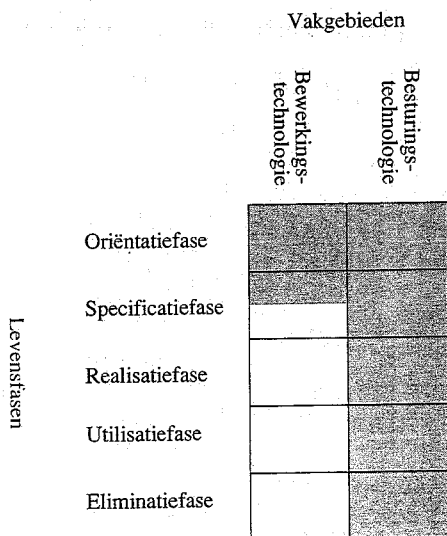


Fig. 3. Matrix van een industrieel systeem

doel van het industriële systeem is geformuleerd.

Tijdens de tweede levensfase, de specificatiefase, wordt vanuit het doel de specificatie van het systeem opgesteld. Veelal worden de resultaten neergelegd in de vorm van schetsen en tekeningen. Soms ook worden prototypes van het industriële systeem gerealiseerd. De specificatiefase kan worden onderverdeeld in een subfase waarbij de functie wordt vastgelegd en in een subfase waarbij de uitvoeringsvorm wordt bepaald. Bij alle mogelijke (tussen)oplossingen dient men gedurende de specificatievoortgang steeds te toetsen of ze realiseerbaar zijn. Hierbij dienen naast de technische en economische factoren ook fabricage- en gebruikaspecten in beschouwing te worden genomen. Uit praktische overwegingen zullen niet alle gevonden mogelijkheden kunnen worden uitgewerkt. Dit vereist dus na ieder van de genoemde subfasen een evaluatie. Het opstellen van een specificatie verloopt meestal niet rechttoe rechtaan: specificeren gaat gepaard met vallen en opstaan en de eerst gevonden oplossing is zelden de beste. Steeds zal men proberen om de verschillende specificatiebeslissingen te valideren.

In de derde levensfase, de realisatiefase, worden alle noodzakelijke stappen ondernomen voor het daadwerkelijk bouwen van het systeem. Tot deze fase worden onder andere het bestellen van alle benodigdheden, de fabricage van de componenten en de montage gerekend. Het is van groot belang dat van het werkende systeem een goede documentatie voorhanden is. Anders is het vrijwel onmogelijk dat iemand die niet van begin af aan bij het systeem betrokken is geweest, dit systeem zal begrijpen. Nadat het systeem is gebouwd, getest en in orde bevonden, kan het worden vrijgegeven voor gebruik. Overigens zullen zich in de realisatiefase in de praktijk vaak een aantal problemen voordoen die een aanpassing van de oorspronkelijke specificatie vereisen.

In de vierde fase, de utilisatiefase, moet het geld dat in het systeem is geïnvesteerd, worden terugverdiend. Nu zal blijken of het systeem inderdaad functioneert zoals in de oriëntatiefase en de specificatiefase is verondersteld. Een probleem in deze fase is, dat onder invloed van externe ontwikkelingen de doelstellingen van het systeem kunnen veranderen. Het hangt van de flexibiliteit van het systeem af in hoeverre het aan veranderende omstandigheden kan worden aangepast.

De vijfde fase, de eliminatiefase, doet zijn intrede op het moment dat het systeem niet langer aan de technische en/of economische doelen kan voldoen. Het systeem zal moeten

verdwijnen. In deze fase dienen alle acties te worden ondernomen om dit op een verantwoorde wijze te doen. Met een goede specificatie kunnen met name de nadelige gevolgen voor de economie en het milieu worden beperkt. De eliminatiefase wordt als beëindigd beschouwd indien niets meer van het systeem is overgebleven. In figuur 2 is de indeling van de vijf levensfasen schematisch weergegeven.

#### Procescalculi en het industriële systeem

Calculus wordt gedefinieerd ("Van Dale") als "een rekenmethode, formeel logisch apparaat waarvan een bepaalde theorie gebruik kan maken". Zo is de procescalculus een formeel logisch apparaat voor met name het specificeren van industriële systemen, waarbij wordt uitgegaan van het begrip proces. De procescalculus kan worden gebruikt tijdens de oriëntatiefase en de specificatiefase voorzover dit het functioneel specificeren van de bewerkingprocessen betreft, en tevens tijdens alle fasen van de besturingsprocessen. De opzet is zodanig, dat gedurende de specificatiefase steeds kan worden vastgesteld of de specificatie nog wel aan het doel en de daaruit afgeleide eisen voldoet (validatie). Daarnaast is het mogelijk om opgestelde en gevalideerde specificaties direct te gebruiken tijdens de realisatiefase van de besturing. Procescalculus is niet geschikt voor het vaststellen van uitvoeringsvormen: het construeren van werktuigen wordt hiermee niet ondersteund. In figuur 3 zijn de twee vakgebieden en de vijf levensfasen gecombineerd tot een matrix. Door arcering is het gebied aangegeven waarin de procescalculus kan worden toegepast. Het gebruik van procescalculus ten behoeve van industriële systemen is vergelijkbaar met het gebruik van matrixcalculus en tensorcalculus in de mechanica en matrixcalculus en differentiaalcalculus in de regeltechniek. In twee volgende artikelen zal de procescalculus nader worden uiteengezet. ●

#### Summary

In the first part of this article an explanation is presented of why the current perception of industrial systems is no longer adequate. It is demonstrated that there is a need for a new mathematical paradigm for the description of such systems. The process calculus is introduced. In order to indicate the area within which the process calculus can be used to describe industrial production the second part of the article presents a classification of industrial production. The classification is based on a matrix which describes the different areas of expertise and the phases in the life of an industrial system.

#### Literatuur

- (1) Buffa E.S., Sarin R.K., 1987, Modern Production/Operations Management, John Wiley & Sons, London, UK.
- (2) Jong A.K. de, Roessel P.P. (eds.), 1985, Logistiek Vademecum, Misset, Doetinchem.
- (3) Kalpakjian S., 1989, Manufacturing Engineering and Technology, Addison-Wesley, Reading, MA, USA.