

Verdeel en beheers

Citation for published version (APA):

Udding, J. T. (2005). *Verdeel en beheers*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2005

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

TU/e

technische universiteit eindhoven

Intreerede
14 januari 2005

prof.dr.ir. Jan Tijmen Udding

verdeel
en beheers

/ faculteit werktuigbouwkunde

Intreerede

Uitgesproken op 14 januari 2005
aan de Technische Universiteit Eindhoven

verdeel en beheers

prof.dr.ir. Jan Tijmen Udding

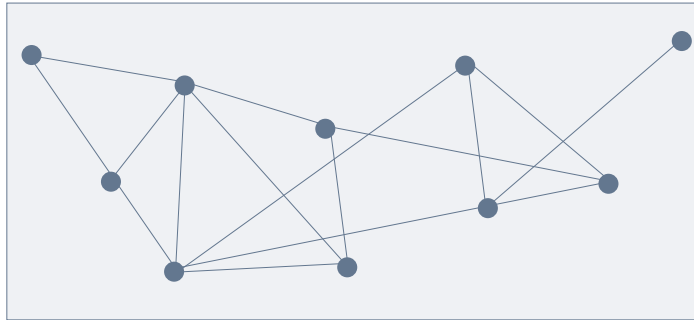
Introductie

Mijnheer de Rector Magnificus, Dames en Heren,

Zonder transport zou er niet geproduceerd kunnen worden. Zonder transport zou het geproduceerde niet gebruikt kunnen worden waar het nodig is. Kortom, transport, en daarmee opslag, is onlosmakelijk verbonden met productie. Het is verbazingwekkend dat de ontwikkelingen in de logistiek bij lange na geen gelijke tred hebben gehouden met de ontwikkelingen van de productieprocessen. Ter vergelijking, toleranties in sommige productieprocessen worden gemeten in nanometers en -seconden, terwijl toleranties in transport daar vele ordes van grootte boven liggen. Transport wordt van oudsher opgevat als een noodzakelijk kwaad. Het productieproces, het produceren van grondstoffen als melk, graan en hout, kwam op de eerste plaats. Ziektes, droogte en plagen lagen voortdurend op de loer. In vergelijking daarmee was vervoer relatief eenvoudig en de verantwoordelijkheid daarvoor lag doorgaans bij de producent. Met de mechanisering van de productie en de verdere perfectionering daarvan ligt het onderscheidend vermogen van een producent echter niet langer alleen op het gebied van het product, maar ook in de tijdigheid en de correctheid van de levering ervan. Met de komst van gemechaniseerd vervoer aan het eind van de 19de eeuw groeide het besef dat logistiek een vak op zich was. Ter illustratie, Frans Maas was een caféhouder in wiens zaak veel kooplui van de veiling bijeen kwamen. Onder het genot van een borrel bespraken ze het vervoer van de goederen die ze hadden gekocht of verkocht. Frans Maas zag, net als vele anderen, een gat in de markt en begon een vervoersbedrijf. Een nieuwe bedrijfstak, die van logistieke dienstverlening, was geboren.

Een logistiek netwerk kan voorgesteld worden als een graaf, waarin de knopen de magazijnen zijn, waar de goederen worden opgeslagen, wellicht bewerkt, en overgeslagen. De takken representeren de vervoerscapaciteit tussen de magazijnen. De eindpunten zijn de producenten die het netwerk voeden, en de consumenten die de goederen afnemen. Een voorbeeld van een dergelijk netwerk is gegeven in Figuur 1.

Netwerk van onderling verbonden magazijnen



figuur 1

Inmiddels is deze bedrijfstak uitgegroeid tot een belangrijke pijler van de Nederlandse economie. Op ieder moment van de dag wordt er een enorme hoeveelheid goederen door dit netwerk geperst. Hierbij zijn niet de takken de beperking van de flow in het netwerk maar de knooppunten. Vervoerscapaciteit is in ruime mate voorhanden, en deze is bovendien tamelijk betrouwbaar en voorspelbaar. De bottlenecks worden gevormd door de overslagpunten waar in een beperkte ruimte en beperkte tijd goederen uit een inkomende stroom verder moeten worden gerouteerd naar een uitgaande stroom. Om een gevoel te krijgen voor de omvang van deze stroom staan in Tabel 1 enkele kencijfers over het jaar 2003 die de omvang aangeven van het vervoer over de Nederlandse wegen [3].

tabel 1

	Beladen ritten (x 10 ⁶)	Afstand (x 10 ⁶ km)	Beladen (x 10 ⁶ km)	Zendingen (x 10 ⁶)	Gewicht (x 10 ⁶ ton)
Intern. beroeps	6,6	3,3	2,80	7,0	115
Intern. eigen	2,1	0,6	0,55	2,5	11
Nat. beroeps	21,6	2,8	2,10	23,4	304
Nat. eigen	19,6	1,5	1,00	24,2	118

Hierin is onderscheid gemaakt tussen het vervoer dat door een eigen wagenpark van een producent wordt verzorgd en het beroepsgoederenvervoer. Voor het vervoer van deze goederen is vervoerscapaciteit nodig. In Tabel 2 staan enkele kencijfers met betrekking tot de Nederlandse vervoerscapaciteit.

tabel 2

De Nederlandse vervoerscapaciteit in 2003

	(x 1.000)
Ondernemingen beroepsgoederenvervoer	12,0
Werknemers	129,0
Vracht/bestelauto's	950,0
Trekkers	63,4
Opleggers	107,0
Totale capaciteit in Kiloton	3,6

Wat onmiddellijk opvalt aan deze getallen is de enorme omvang van het aantal zendingen en de vervoerscapaciteit die voor de verzending daarvoor aangewend kan worden. Nadere beschouwing van de getallen wijst op inefficiënt gebruik van deze capaciteit. Zonder theorie- of modelvorming is het echter onmogelijk om dergelijke uitspraken te staven.

In het vervolg zal ik beginnen met een inkadering van het vakgebied. Ik zal proberen aan te geven naar welke aspecten van dit vakgebied ik onderzoek wil doen, en waar de problemen en uitdagingen liggen. Vervolgens zal ik daar twee aspecten uitlichten, te weten modelvorming en het belang van variabiliteit.



De omschrijving van de leerstoel: het ontwerp en de optimalisering van magazijnsystemen, is dermate ruim dat zij enige inkadering behoeft. In de eerste plaats betreft het onderzoek de beheersing van goederenstromen, zowel binnen als buiten een magazijn. Dit wordt beschouwd vanuit de optiek van een logistiek dienstverlener. Hoewel men zou kunnen denken dat de optimalisering van de productie- en vervoersketen voor verlader en logistiek dienstverlener hetzelfde is, blijken er grote verschillen te zijn. In een ideale wereld, waarin men zonder winsttoegmerk goederen zo snel en goedkoop mogelijk van de producent naar de afnemer zou willen brengen, is dit onderscheid inderdaad niet relevant. In de praktijk heeft iedere partij die deel uitmaakt van de keten echter zijn eigen doel, namelijk het maximaliseren van de eigen (potentiële) winst. Besturingsmodellen, zoals een centraal geleide economie, hebben tot op heden jammerlijk gefaald. Hoewel het een interessante gedachte zou zijn dit soort modellen weer nieuw leven in te blazen, en de mogelijkheden te inventariseren die dit met zich mee zou brengen voor de optimalisering van de keten, is dit geen onderdeel van het onderzoek van de leerstoel.

Zo vormt ook een voor verladers cruciale grootheid als voorraadbeheersing voor deze leerstoel geen onderwerp van onderzoek. Op dit gebied wordt al sinds het begin van de vorige eeuw uitstekend onderzoek gedaan. Eén van de eerste artikelen op dit gebied betrof de economisch optimale bestelhoeveelheid, gegeven een zekere (vaste) vraag, set-up kosten per bestelling, en opslagkosten voor het bestelde [6]. Moderne ERP softwarepakketten maken op uitgebreide schaal gebruik van dit soort analyses. Bij deze universiteit wordt hier binnen de faculteit Technology Management onderzoek naar gedaan, cf. [4].

Voor een logistiek dienstverlener zullen de fluctuaties in aanbod en vraag van de goederen nog lange tijd als een onvermijdelijk gegeven moeten worden opgevat. De vraag is hoe, gegeven deze fluctuaties, de goederenstroom toch zo goed mogelijk beheerst kan worden. Een veelzeggend experiment waarmee wordt aangetoond hoe zelfs onder extreem eenvoudige omstandigheden de voorraad in de logistieke

keten volkomen onbeheersbaar kan worden is de zogenaamde 'beer game', ontwikkeld bij MIT [17]. Een keten van 4 knooppunten (brouwer, distributeur, groothandel en winkel) wordt beschouwd. Elk van deze knopen in de keten wordt gespeeld door één of meer mensen. Iedere knoop krijgt wekelijks een bestelling van stroomafwaarts, doet op grond daarvan een bestelling stroomopwaarts en ontvangt het vorige week bestelde. Het spel begint in een evenwichtstoestand waarin de klant 4 vaten per week afneemt. Op zeker moment wordt de afname door de klant verhoogd tot 8 vaten per week, waarna de afname op dat niveau blijft. Op zijn snelst blijkt het dan maanden te duren voor zich een nieuw evenwicht in de keten heeft ingesteld. De voorraad in de keten wordt doorgaans minstens 10 keer groter dan optimaal nodig zou zijn.

Een ander voorbeeld van hoe zelfs binnen één bedrijf de keten op elkaar tegenwerkende manieren kan worden aangestuurd is dat van een autobiefabrikant. Het bedrijf kwam tot de ontdekking dat er een overschot was aan groene auto's in de showrooms. Om dit overschot weg te werken besloot de verkoopafdeling tot een marketingcampagne met speciale aanbiedingen voor groene auto's. Toen de productieafdeling de gestegen verkoop van groene auto's gewaar werd, besloot deze meer groene auto's te produceren. Zolang dit nog de praktijk is in de logistieke keten, kan een logistiek dienstverlener maar beter leren om te gaan met vanuit zijn optiek willekeurige fluctuaties.

Een bekend gezegde luidt dat het met onwillige honden slecht hazen vangen is. Het merendeel van de activiteiten in de keten wordt (nog steeds) gedaan door mensen. Slechts een klein gedeelte van het gehele proces is geautomatiseerd. Dit betekent dat de snelheid, efficiëntie en nauwkeurigheid van mensen een andere bron van fluctuatie is voor de efficiëntie van de keten. Hoe beter mensen gemotiveerd zijn en hoe aantrekkelijker de werkomgeving is, des te productiever deze mensen zullen zijn. Hoewel op dit gebied vast nog aan productiviteit te winnen valt, ligt het buiten de scope van het onderzoek. Ook deze variabiliteit wordt als een gegeven opgevat. Wel zal geprobeerd worden inzichtelijk te maken wat de consequenties van deze variabiliteit zijn, en in welke mate dit de productiviteit kan beïnvloeden.

Industriële praktijk

In vergelijking met de omgeving bij sommige fabricagesystemen, waar



nauwkeurigheden van nanogrammen, nanometers en nanoseconden geen uitzondering zijn, is de logistieke wereld er nog steeds één van kilogrammen, (kilo)meters en uren, zoniet dagen. Dit betekent niet dat we de technieken die ontwikkeld zijn voor deze microscopische omgeving niet kunnen toepassen. Wel dienen we ons bewust te zijn van een andere maat voor grootte. Ook in de logistieke wereld zullen de eisen omhoog gaan, en levertijdnaauwkeurigheid zal ooit in minuten gemeten gaan worden terwijl de tarieven nog wezenlijk naar beneden zullen gaan.

De huidige logistieke praktijk is dat veel dagelijkse beslissingen nog intuïtief, weliswaar gestoeld op een jarenlange ervaring, worden genomen. Deze beslissingen zijn misschien niet optimaal, maar wel goed genoeg bewezen in de praktijk. Laat één ding duidelijk zijn: hoe ambachtelijk dit ook mag overkomen, we zijn nog lang niet in staat om deze intuïtie in formele regels te vangen en dit proces, op heel kleine deelgebieden na, te automatiseren.

Eén van de redenen is dat bijna alle theoretische modellen uitgaan van de beschikbaarheid van volledige informatie. Achteraf is dan misschien gemakkelijk vast te stellen dat het beter had gekund. Maar is dat op het moment dat bepaalde beslissingen moesten worden genomen ook het geval? Vaak worden zendingen initieel onvolledig aangemeld. In de loop van de levenscyclus van zo'n zending wordt deze informatie aangevuld, bijvoorbeeld met het gewicht, het aantal colli, maar ook de bestemming van zo'n zending. Beslissingen over de planning van deze zendingen dienen genomen te worden als nog niet bekend is waar deze uiteindelijk naar toe moeten. Het enige wat gebruikt zou kunnen worden is statistische informatie op grond van het verleden. Achteraf, op grond van de vastgelegde zendinggegevens, is bijna nooit meer vast te stellen op welk moment welke informatie beschikbaar was. De meeste planningsalgoritmen kunnen heel slecht omgaan met het gebrek aan informatie. Zolang de ontwikkelde modellen geen rekening houden met deze onzekerheid zal de daarop ontwikkelde theorie niet in de praktijk (kunnen) worden toegepast.

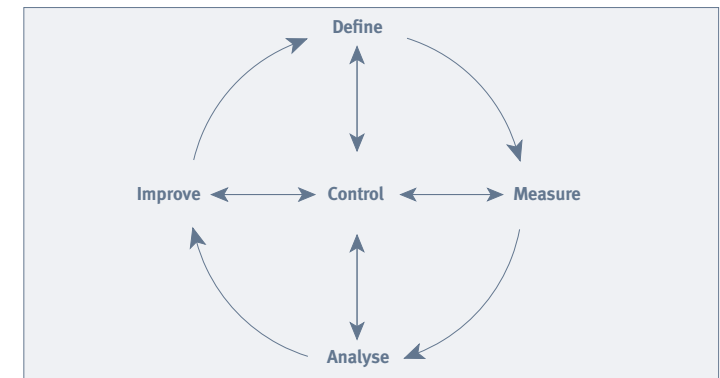
Op gezette tijden is het nodig bepaalde strategische beslissingen ten aanzien van een logistiek netwerk te nemen. Zo wordt de topologie van zo'n netwerk vaak door de historie bepaald, bijvoorbeeld door de

aanwezigheid van grenzen tussen de verschillende landen in Europa. Met het wegvallen van veel grenzen in Europa zou de meest optimale locatie van een magazijn kunnen veranderen. Ook de routing van de goederenstromen door het netwerk wordt vaak door de historie bepaald. Bij potentieel nieuwe goederenstromen of het wegvallen van bestaande is het af en toe nodig het netwerk opnieuw te evalueren en te beslissen om nieuwe stromen toe te voegen, en tegen welke prijs, of bestaande stromen om te leiden of niet langer te handhaven. Deze beslissingen kunnen op het moment slechts met grote moeite getalsmatig worden gestaafd.

In de dienstverleningssector, dus ook in de logistiek, doen kwaliteitsprogramma's steeds meer opgang. Eén van de meer bekende is Six Sigma [10], waarbij (statistische) eisen worden gesteld aan het langetermijngedrag van een productieproces of dienstverlening (slechts enkele van iedere miljoen benoemde acties mogen tekortschieten). Doel van deze programma's is de kwaliteit te verbeteren door een proces van Define (het probleem), Measure (door data te verzamelen en een maat te definiëren), Analyse (om de oorzaken te identificeren), Improve (door de oorzaken te elimineren) en Control (door veranderingen te bewerkstelligen en voortdurende bewaking), cf. Figuur 2.

figuur 2

DMAIC verbeterproces



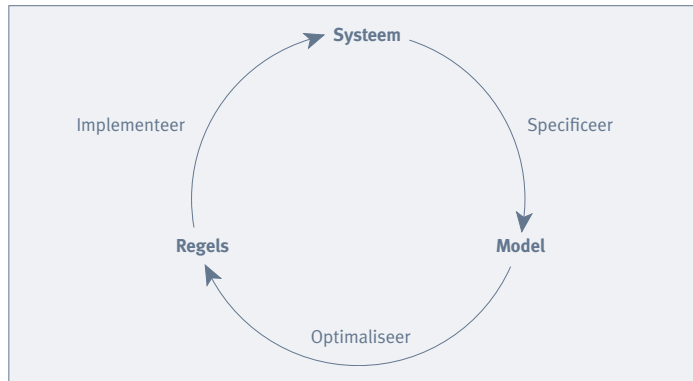
Uit de bovenstaand geschetste praktijk blijkt dat er grote behoefte is aan het eenduidig kunnen definiëren, meten, analyseren, verbeteren



en beheersen van processen. De enige manier om dit te doen is door middel van het formaliseren c.q. modelleren van de te optimaliseren werkelijkheid. Vanuit een meer modelmatig standpunt kan het proces van Figuur 2 ook gedacht worden als dat van Figuur 3 [12].

figuur 3

Cirkel van optimalisatie



Omdat modelvorming een zo centrale rol speelt bij het optimaliseren van industriële systemen zal ik daar in de volgende secties uitgebreider op in gaan. Eerst zal ik iets verder ingaan op de overeenkomsten en verschillen tussen magazijnsystemen en fabricagesystemen.

Analogieën met fabricagesystemen

Er zijn grote overeenkomsten tussen fabricagesystemen en magazijnsystemen. In beide gevallen ontvangt een systeem een zekere (meer-voudige) invoer die, in een aantal stappen, wordt getransformeerd naar een zekere uitvoer. Waar dit in een fabricagesysteem grondstoffen zijn, die na een aantal bewerkingen resulteren in een eindproduct, kunnen dit in een magazijnsysteem de orders zijn die na een proces van picken, sorteren, consolidatie en verpakken fysiek zijn gerealiseerd. Dit betekent dat veel van de theorieën die ontwikkeld zijn op dit gebied ook toepasbaar zijn op magazijnsystemen. Hierbij valt te denken aan wachtrijtheorie, scheduling, regeltheorie en optimalisatie. Begrippen als WIP (Work In Process), doorzet, doorlooptijd en utilisatie zijn ook in magazijnomgevingen belangrijke prestatie-indicatoren, en ook hier kan Little's Law $WIP = \varphi \cdot \delta$, waar φ de doorlooptijd en δ de doorzet is, veelal

worden toegepast. Wat ook, zelfs meer nog dan bij fabricagesystemen, een heel grote rol speelt is variabiliteit.

Het toepassen van deze theorieën buiten hun oorspronkelijke domein vereist echter de nodige zorgvuldigheid, omdat er ook verschillen zijn. Bij optimalisatie bijvoorbeeld heeft het maximaliseren van de doorzet of het minimaliseren van WIP weinig zin. Werkkracht is doorgaans beschikbaar in discrete eenheden van 4 of 8 uur. Het is veel belangrijker het werk zodanig te verdelen dat er gedurende de hele dag of shift werk te doen is, dan dat dit werk binnen een uur klaar is. Productie-eenheden in een magazijn zijn bijzonder flexibel bij en af te schakelen, in tegenstelling tot wat in een fabriek mogelijk is, maar dus wel in zeer discrete eenheden. In een magazijn is het doorgaans zo dat de capaciteit bepaald wordt door de hoeveelheid menskracht en niet door de hoeveelheid beschikbare apparatuur. Een interessant aspect is dat deze 'machientjes' naar believen gecombineerd kunnen worden tot snellere machientjes, waar in een gewone productieomgeving de machines een vaste gemiddelde productiecapaciteit hebben. Wel geldt in een magazijn al heel snel de wet van de verminderde meeropbrengst: een taak die door 1 man in 10 uur gedaan kan worden, wordt bij lange na niet door 10 man in 1 uur gedaan.

Een ander verschil is dat de processen in een magazijnsysteem veel minder strak gedefinieerd zijn dan in een fabricagesysteem. Mensen zijn bijzonder creatief en in fabricageterminologie bijna allemaal 'cross-trained', dat wil zeggen dat ze bijna overal in het proces kunnen worden ingezet. Dit heeft tot gevolg dat met procedures nog wel eens de hand wordt gelicht. Het systeem kan dan in een toestand komen die niet was voorzien.

Anders dan bij fabricagesystemen is het bij magazijnsystemen zo, dat alle vormen van variabiliteit ongewenst zijn door de positionering van het onderzoeksgebied op het vlak van de logistieke dienstverlening. Is het zo dat de variabiliteit in een productieproces een gevolg kan zijn van de behoefte in de markt aan een grotere diversiteit in producten, en daarmee dus zichtbaar en positief is voor de consument, de variabiliteit aanwezig in het logistieke proces dat daarna of daarvoor plaatsvindt dient geen enkel doel voor de afnemer. Losgekoppeld van het productieproces dient het logistieke proces er alleen maar voor om goederen zo



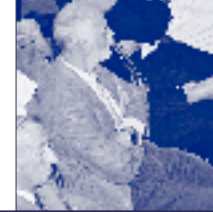
Modellen

voorspelbaar mogelijk van producent naar afnemer te krijgen.

Ten slotte richten veel beschouwingen in een fabricagesysteem zich op een zogenaamde 'steady state', een evenwichtstoestand. Een magazijn-omgeving heeft echter vaak (niet altijd, zoals in de automobielenindustrie) een tijdsframe van 1 dag en een steady state wordt nimmer bereikt. Aan het eind van die dag dient al het werk af te zijn, eventueel bewerkstelligd door overwerk. In feite zijn we geïnteresseerd in het transitiegedrag, en niet het steady state gedrag, iets wat in fabricagesystemen vaak juist buiten beschouwing wordt gelaten.

Een wetenschappelijke beschrijving ter beschouwing van de ons omringende werkelijkheid is uitsluitend mogelijk door een sterke vereenvoudiging van die werkelijkheid. Met modelvorming wordt hier bedoeld het proces van deze abstractie. De resulterende (kwalitatieve) modellen worden ook wel structuurmodellen genoemd, zoals het netwerk in Figuur 1. Wanneer dergelijke modellen in een kwantitatieve zin kunnen worden gebruikt heten ze ook wel mathematische modellen. In de natuurwetenschappen is het gebruik van zulke modellen zo'n gemeengoed geworden, dat men zich vaak niet meer realiseert dat het slechts een model betreft. Een voorbeeld hiervan is het periodiek systeem der elementen van Mendelejev. Een model wordt zodanig gekozen dat de te bestuderen aspecten van het origineel en van het model grote overeenkomsten vertonen. Andere aspecten kunnen grote verschillen vertonen. Het is cruciaal te toetsen of de gewenste overeenkomsten inderdaad bestaan, en conclusies te beperken tot die aspecten van het model. In dat geval kan het model namelijk gebruikt worden om voorspellingen omtrent het gedrag van het origineel te doen. Verschillende modellen kunnen gebruikt worden om aspecten van hetzelfde fenomeen te beschrijven. Deze modellen kunnen elkaar deels uitsluiten, maar kunnen elk een verklaring geven voor bepaalde waarnemingen. Zo dient de golfvoorstelling van licht ter verklaring van interferentie- en buigingsverschijnselen, en de deeltjesvoorstelling ter verklaring van de kwantumverschijnselen. De mate van detail in een model kan ook afhankelijk zijn van het toepassingsgebied. Zo is Newtons relatie tussen kracht, massa en versnelling, $F = m \cdot a$, een wetmatigheid die uitstekend voldoet in onze dagelijkse omgeving. Voor de beschrijving van meer complexe problemen voldoet het bijbehorende model echter niet meer en is op dit moment een beschrijving met behulp van kwantummechanica een veel gebruikt model.

Modellen kunnen worden gebruikt in alle fasen van een ontwerpproces: verkenning, specificatie, realisatie en gebruik. Omdat een model zich beperkt tot de essentie van het probleem dient het in al deze fasen voor een beter begrip en een betere communicatie. Een tweede belangrijke



rol van een model is dat het ons in alle fasen van het proces in staat stelt te experimenteren met bepaalde instellingen. Enerzijds kunnen we zo kijken of het model aansluit bij de werkelijkheid en dezelfde trends vertoont als die werkelijkheid. Anderzijds kunnen we optimalisatietechnieken toepassen en meer algemeen 'what-if' scenario's afspelen, om te kijken wat er onder extreme omstandigheden zou kunnen gebeuren. Dit zou men in de praktijk nooit kunnen of willen doen.

Bij dergelijke modellen wordt vaak onderscheid gemaakt tussen zogenaamde discrete (event) modellen en continue modellen. In deze discrete modellen is er doorgaans sprake van een eindige verzameling van objecten en relaties daartussen. Een systeem kan in slechts een eindig aantal toestanden zijn. Overgang van de ene naar de andere toestand vindt instantaan plaats, getriggered door een bepaalde gebeurtenis. Het aantal toestanden kan, hoewel eindig, alle menselijk begrip te boven gaan, en het karakteriseren van iedere toestand is onbegonnen werk. Een bekend voorbeeld van zo'n discreet systeem is een computer en een berekening is niet anders dan een heel lange maar eindige serie toestandsovergangen. In continue modellen wordt geabstraheerd van het discrete karakter van sommige objecten en wordt in ieder geval de tijd continu verondersteld. Een voorbeeld van een dergelijk (ideaal)model is een gas, dat microscopisch gezien bestaat uit een groot aantal elementaire deeltjes, maar voor veel beschouwingen gekarakteriseerd wordt door macroscopische grootheden als temperatuur en druk die als continue grootheden afhangen van de tijd. Zo kan WIP als functie van de tijd niet-gehele waarden aannemen. In de volgende alinea's zal ik proberen te schetsen dat zowel continue als discrete modellen zinvolle abstracties kunnen vormen in een logistieke omgeving. Netwerken van magazijnen kunnen goed gemodelleerd worden met behulp van continue modellen, de processen in een magazijn zelf lenen zich prima voor discrete modellering.

Een continu model

Een situatie waarin een continu model uitkomst zou kunnen bieden is het volgende supply chain model. Hoewel de goederenstroom in de wereld af en toe chaotisch lijkt en volstrekt willekeurig, is deze in de praktijk wel degelijk gereguleerd. Doorgaans gaan de geproduceerde goederen door een statisch netwerk via een aantal overslagpunten

naar de afnemer. Hetzelfde netwerk wordt gebruikt voor een enorme verscheidenheid aan goederen, elk met hun eigen karakteristieken, zoals vorm en gewicht, maar ook met hun eigen doorlooptijd en gewenste aflevertijdstip. Een dergelijk netwerk en de goederenstroom daar doorheen zou kunnen worden gemodelleerd met behulp van een discrete event model. Het aantal toestanden en het aantal gebeurtenissen dat onderscheiden moet worden is echter zo immens dat het analyseren van een goederenstroom door dit netwerk ondoenlijk wordt. Het aantal mogelijke toestanden is virtueel oneindig. Aangezien we juist what-if scenario's zouden willen doorrekenen, en dus vele simulaties zouden willen doen, is een continu model hier meer op zijn plaats. Het aantal 'deeltjes' dat in het netwerk zit is zo groot dat het handiger is om deze stroom op te vatten als een vloeistof met een aantal macroscopische eigenschappen zoals snelheid en flux.

Het gebruik van deze vloeistofmodellen bij grote discrete stromen is niet nieuw. In het begin van de jaren 70 werden vloeistofmodellen reeds toegepast om verkeersstromen te modelleren en een verklaring te vinden voor schijnbaar willekeurige opstoppingen en vertragingen bij zwaar gebruik van een bepaald wegvak, cf. [11]. Met behulp van deze modellen kan bijvoorbeeld verklaard worden waarom opstoppingen zich al ver voor een wegversmalling manifesteren, dat de grootste doorstroming bereikt wordt bij een snelheid van rond de 70 km/uur en dat het reguleren c.q. beperken van de toestroom op een snelweg door middel van stoplichten de doorstroming kan bevorderen. Ook voetgangersstromen kunnen op deze manier verklaard worden. Bij rustig individueel gedrag (geringe Brownse bewegingen) vormen zich vanzelf stromen in de gewenste richtingen. Bij onrustig individueel gedrag (grote Brownse bewegingen, paniek in de massa) treden opstoppingen en blokkades op. Deze theorie wordt met succes toegepast bij het ontwerpen van grote stadions of vluchtwegen in grote gebouwen. Essentieel in deze modellen is het relatief autonome karakter van de deeltjes. Bij een centrale aansturing gelden vanzelfsprekend andere wetmatigheden en besturingsconcepten. Zoals eerder betoogd, bestaat de logistieke wereld uit zeer veel autonoom opererende, en lokaal optimaliserende elementen, zodat dergelijke modellen uitstekend toepasbaar zijn.

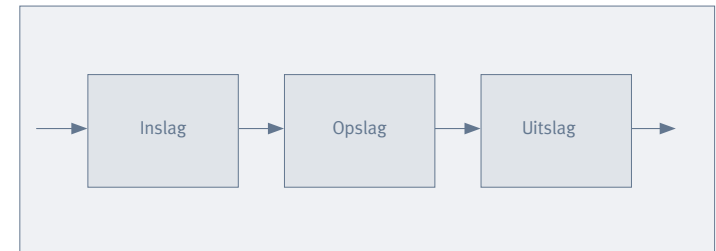
Onderzoek dat op het gebied van supply chains wordt gedaan met behulp van continue modellen beperkt zich veelal tot een lineaire keten

van een aantal knopen die elk een zekere (stochastisch verdeelde) hoeveelheid tijd nodig hebben om hun waarde toe te voegen aan het product. Vaak beperkt men zich ook nog tot een uniform producttype, om de theoretische beschouwingen praktisch te houden. De variabelen die dan continu verondersteld kunnen worden zijn de WIP (Work In Process), als er veel producten in de keten zitten, de relatieve positie van een product in de keten, als het aantal knooppunten groot is, of een kunstmatige variabele die de mate van gereedheid van een product in de keten uitdrukt. In de praktijk van een logistiek dienstverlener zullen de overslagpunten de knopen, c.q. bottlenecks, in dit model zijn. De vervoerscapaciteit ertussen is doorgaans ruimschoots aanwezig en de variabiliteit van uitvoering zeer gering. Echter, deze overslagpunten kunnen onderling met elkaar zijn verbonden, zodat we ze niet meer lineair kunnen ordenen. Bovendien gaan er in de praktijk zeer veel verschillende producttypes door het netwerk, waarbij ook nog verschil wordt gemaakt tussen een aantal verschillende soorten dienstverlening, (normaal, snel, spoed). Er zal nog een aantal substantiële stappen gezet dienen te worden voor deze theorie van vloeistofmodellen, hoe elegant ook, in de logistieke praktijk toepasbaar zal zijn. Een niet te onderschatten probleem hierbij is om vast te stellen hoe de doorzet in een bepaald overslagpunt in de praktijk afhangt van de WIP in dat overslagpunt. Empirische data zijn hierbij onontbeerlijk, maar het is zeer moeilijk betrouwbare data te vergaren. Op de vraag hoe zoiets gemeten kan worden kom ik later terug.

Een discreet model

In een zeer abstracte zin kan een magazijn worden opgevat als een 'black box' waar een homogene infrequente stroom van goederen ingaat, en waar een inhomogene frequente stroom van orders uitgaat. De toegevoegde waarde van een magazijn is deze transformatie van goederen naar orders en een loskoppeling van deze beide stromen in de tijd. Echter, zonder inzicht in de processen binnen een magazijn, en handvatten om deze processen te beïnvloeden is dit model te abstract om zinvol te zijn.

Een verdere verfijning is een onderverdeling in het inslagproces, waarin goederen binnenkomen in het magazijn, het opslagproces, waarin goederen worden opgeslagen, en het uitslagproces, waarin goederen worden gepickt en verzonden. In een plaatje zou dat er als volgt uitzien:



figuur 4

Dit model heeft nog steeds geen handvatten voor de aansturing van de verschillende processen. Door op deze manier door te gaan en tamelijk licht gekoppelde processen te identificeren wordt hun complexiteit echter verkleind en wordt duidelijk welke parameters van belang zijn voor de deelprocessen.

Elk van deze deelprocessen valt verder uiteen in weer kleinere deelprocessen. Bij deze verdere detaillering wordt ook duidelijk wat de parameters van de verschillende processen zijn, waarmee we sturing kunnen geven. Zo zal ergens in dit verfijningproces naar boven komen dat we voor opslag iets zullen moeten weten over locaties en hun gebruik. Dan wordt ook duidelijk dat we een aantal beslissingen zullen moeten nemen ten aanzien van abstractie. Een typisch magazijn heeft enkele tienduizenden locaties, waardoorheen enkele tienduizenden artikelen gaan. Een model met deze mate van detail is niet bruikbaar. Op grond van overeenkomst van relevante eigenschappen dienen we klassen te maken van artikelen, locaties, apparatuur, reistijden, enzovoorts. Wat resulteert is een (meta)model dat, gegeven een bepaalde instelling van zijn parameters, een daadwerkelijk magazijn modelleert. In de afgelopen jaren heeft een aantal afstudeerders deze modellen opgesteld. Op het moment zijn we bezig met een validatie van deze modellen in de praktijk, waarover later meer.



Iedereen is bekend met het begrip gemiddelde. Het gemiddelde van een bepaalde grootte geeft door middel van één getal een gevoel voor die grootte. Wat we bijvoorbeeld af kunnen leiden van een gemiddelde is een trend. Zo kunnen we beweren dat Nederland vergrijsst, omdat de gemiddelde leeftijd toeneemt. Vaak kunnen we er meer uit afleiden. Aannemende dat we ons gehouden hebben aan alle snelheidsbeperkingen, kunnen we uit een gemiddelde snelheid van 110 km/uur concluderen dat het grootste gedeelte van de reis via de snelweg gegaan zal zijn, dat het niet druk was en dat er geen files waren. Spelenderwijs leert iedereen om te gaan met gemiddelden en het afleiden daaruit van belangrijke informatie. Indien we echter een systeem willen beïnvloeden c.q. aansturen is het net zo belangrijk te weten hoe zo'n gemiddelde ontstaat. Met andere woorden: liggen alle waarden die dit gemiddelde bepalen in de buurt van dit gemiddelde of er juist ver vanaf? Als een gemiddelde snelheid van 60 km/uur is ontstaan doordat we voortdurend stilstanden of de maximumsnelheid redan, zullen de rijervaring, slijtage van remmen en benzineverbruik anders zijn dan bij een constante snelheid van 60 km/uur. Variabiliteit is de mate waarin waarden afwijken van hun gemiddelde. De gevolgen van variabiliteit zijn helaas veel minder intuïtief dan die van gemiddelden, hoewel ze van grote invloed kunnen zijn op de efficiëntie van een operatie. Alleen een zorgvuldige wiskundige analyse kan de gevolgen van variabiliteit in kaart brengen en helpen deze te beperken. De gevolgen van variabiliteit voor bijvoorbeeld doorloopsnelheid worden in de praktijk nog vaak schromelijk onderschat [15], zeker in het geval de output van het ene proces weer input is van het andere.

In principe zijn er twee soorten van variabiliteit, namelijk die welke we kunnen beïnvloeden en die welke we niet kunnen beïnvloeden, althans niet binnen het systeem dat we beschouwen. In een magazijnomgeving kan het aantal gepicke orders van 60 per uur gerealiseerd worden door iedere minuut 1 order te picken, en in feite een continue stroom van orders te hebben, maar ook door 60 orders batchgewijs te verwerken en eens per uur op hetzelfde moment 60 orders te realiseren. De inrichting

van het pickproces (hetgeen tot op zekere hoogte een keus is) kan dus de mate van variabiliteit sterk beïnvloeden en zo de mate van benodigde capaciteit op elk moment van het proces.

Afhankelijk van de systeemgrenzen zijn sommige soorten van variabiliteit niet beïnvloedbaar. Zo wordt het aantal orders per dag (de vraag van de klant) voor een magazijn doorgaans als een stochastische variabele opgevat, hoewel bepaalde promotionele acties wel degelijk een voorspelbare invloed hebben op de vraag. In een ideale wereld, waarin alle informatie overal beschikbaar is, is de variabiliteit in de supply chain bekend en beïnvloedbaar. In bijna alle praktische gevallen zit hier voor een magazijnoperatie een grote mate van willekeur in. Veel onderzoek richt zich op de optimalisatie van deze supply chain. Dit onderzoek maakt duidelijk dat hier veel te halen valt. Daarvoor is wel een herverdeling vereist tussen verladere en logistiek dienstverleners met betrekking tot wie waar winst mag maken. Zoals al eerder gezegd, het is niet aannemelijk dat dit binnenkort wezenlijk gaat veranderen. Vanuit het oogpunt van een magazijnoperatie is de omvang en aard van de goederenstroom een niet-beïnvloedbare (en dus stochastische) variabele, en richt dit onderzoek zich niet op de optimalisatie van de supply chain. Willekeur in deze optiek is dus het gevolg van het ontbreken van informatie. Doel van het onderzoek is om de variabiliteit die beïnvloedbaar is zo klein mogelijk te maken, en zo optimaal mogelijk om te gaan met de intrinsiek aanwezige willekeur. Dat wil zeggen dat de aandacht uitgaat naar robuuste oplossingen, die in een groot gebied goed zijn, en niet naar optimale oplossing die wellicht bij een geringe verstoring een veel slechter gedrag vertonen.

Naast de niet-beïnvloedbare geachte goederenstroom, is ook de natuurlijke variabiliteit van menselijk handelen en het verschil tussen de productiviteit van mensen, zoals eerder gezegd, geen onderdeel van het voorgestelde onderzoek, maar een gegeven. Variabiliteit die het gevolg is van een slecht ingericht proces maakt wel deel uit van het onderzoek. Twee belangrijke bronnen van verstoring in een magazijnomgeving zijn idle picks en rework. Een idle pick vindt plaats als een picker naar een locatie wordt gestuurd waar onvoldoende van het gewenste materiaal voorradig is. Dit heeft een enorm verstoring effect op het proces. Hoe verstoring voor doorlooptijd en doorzet is onderdeel van dit onderzoek. Hetzelfde geldt voor rework, dat het gevolg is van een kwaliteitscontrole

die tekortkomingen aan het licht heeft gebracht die moeten worden opgelost.

Een laatste opmerking bij de aanwezigheid van stochastische grootheden is dat het lastig is trends correct waar te nemen. Verbeteringen die bijvoorbeeld ogenschijnlijk het gevolg zijn van een donderspeech of een verbetering in het proces kunnen vaak verklaard worden uit het fenomeen 'regression to the mean': de kans op twee extreme prestaties (goed of slecht) achter elkaar is doorgaans veel kleiner dan een extreme en een wat minder extreme.

De beschouwingen tot nu toe zijn tamelijk kwalitatief van aard. Voor het optimaliseren en regelen van systemen, hetgeen uiteindelijk ons doel is, hebben we meer kwantitatieve beschouwingen nodig, waar ik in de volgende twee secties op in zal gaan. Enerzijds wil ik ingaan op de manier waarop systemen kunnen worden geanalyseerd met behulp van de ontwikkelde modellen. Anderzijds is één van de belangrijkste doelen van een model het kunnen experimenteren met de instellingen van een systeem en de inrichting van bepaalde processen in dat systeem. Naast een model zijn hiervoor (praktijk)data nodig. Op het verkrijgen hiervan ga ik in de sectie 'over meten en weten' in.

Indien modellen eenvoudig genoeg zijn kan analyse plaatsvinden met behulp van analytische beschouwingen. Grootheden als maximum WIP, doorzet, etc. kunnen dan analytisch worden bepaald. Wanneer de modellen ingewikkelder worden, lukt het vaak niet meer om analytisch over deze grootheden te redeneren en valt men terug op simulatie. Bij de sectie Systems Engineering binnen de faculteit Werktuigbouwkunde wordt hiervoor het formalisme χ gebruikt [13]. Dit is gebaseerd op Hoare's concept van Communicerende Sequentiële Processen [7] en geformaliseerd als een proces algebra [2,1]. Ieder proces voert (doorgaans herhaaldelijk) een serie van acties uit. De enige manier om met zo'n proces te communiceren, bijvoorbeeld om de volgorde van die acties te beïnvloeden, is via zogenaamde kanalen. Dit concept sluit nauw aan bij de manier van modelleren van magazijnprocessen zoals eerder beschreven.

De modellen die in de afgelopen jaren zijn ontwikkeld voor de inslag, opslag en uitslag processen [5,14,16] zijn geïmplementeerd in χ . Een honderdtal parameters is geïdentificeerd met behulp waarvan de operatie van een magazijn kan worden gekarakteriseerd. Dit zijn natuurlijk parameters zoals het aantal pickers of de aantallen locatietypen. Maar hierbij horen ook parameters als stochastische verdelingen voor het orderpatroon of de pickrun tijden. Ten slotte worden hier ook onder geschaard de algoritmes die gebruikt worden voor de aansturing van de operatie. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de scheduling van trucks of van orders. Een eerste fase van validatie heeft plaatsgevonden, waarmee is aangetoond dat de modellen intern consistent zijn. Zo ontstaan bottlenecks waar je ze zou verwachten als ergens te weinig capaciteit van is, etcetera. Dit zegt echter nog weinig over de toepasbaarheid van het model in een praktische situatie. Hierop kom ik in de volgende sectie terug.

Verder is gekeken naar het pickproces en het schedulen van jobs om de tardiness, de mate van het te laat gereed komen van orders, te minimaliseren onder zekere voorwaarden [9]. De conclusie die daaruit getrokken

Over meten en weten



kan worden is dat in veel gevallen de eenvoudige scheduling algoritmes, die door hun eenvoud ook in de praktijk toepasbaar zijn, zoals EDD (Earliest Due Date), een performance laten zien die goed genoeg is in de praktijk. Zeker als de daadwerkelijke picktijden kunnen afwijken van de tijden zoals ze geschat werden bij het scheduleren van de jobs, dus als we rekening houden met de onvermijdelijke procesvariabiliteit, lijkt er geen enkele reden te bestaan om door middel van nieuwe scheduling algoritmen nog verder te optimaliseren.

Een geveleugelde uitspraak is 'meten is weten'. Hoewel dit in de basis absoluut juist is, mogen hier, zeker in een magazijnomgeving, wel enkele kanttekeningen bij geplaatst worden. De eerste vraag die zich aandient is *wat* we willen meten om vast te stellen hoe goed of slecht een bepaald proces zich gedraagt. De vraag is vervolgens *hoe* we dat zouden kunnen meten. Zoals eerder al betoogd is een beschouwing alleen op grond van gemiddelden volstrekt onvoldoende om de karakteristieken van een operatie te kunnen beoordelen. Immers, variabiliteit heeft een grote invloed op WIP, doorzet, doorlooptijd en utilisatie. Met andere woorden: we dienen in deze metingen ook de mate van variabiliteit vast te stellen. Vervolgens dient datgene wat we hebben gemeten te worden geïnterpreteerd (getallen op zich zeggen helemaal niets) en getoetst. De vraag die we ons voortdurend dienen te stellen is of hetgeen we gemeten hebben voldoende met de realiteit overeenkomt.

Wat willen we meten

Er is een heel scala aan grootheden dat men kan meten aan de operatie van een magazijn, de zogenaamde KPI's (Key Performance Indicators). Een kleine greep is het aantal inkomende zendingen per dag, het aantal orders per dag, het aantal pickregels per dag, het aantal orders of het aantal pickregels per werknemer per dag, de utilisatie van werknemer en apparatuur, de lengte van een pickrun, etc. Voorgaande grootheden zijn allemaal gemiddelden. Zoals ik in de voorgaande secties betoogd heb, geven gemiddelden wel een indicatie voor de efficiëntie van een magazijn, maar is variabiliteit een net zo belangrijk gegeven indien we willen identificeren waar verbeteringen gerealiseerd zouden kunnen worden. Naast deze gemiddelden die in veel magazijnen standaard worden gemeten is dus ook de variabiliteit daarin een belangrijk gegeven.

Hoe willen we dat meten

We zijn niet alleen geïnteresseerd in de KPI's die uitgedrukt kunnen worden in gemiddelden maar ook in hun variantie. Dan dringt zich vanzelf de vraag op: hoe kunnen we dat meten? In een magazijn zijn



veel bronnen van verstoring die de procestijden van de verschillende processen kunnen beïnvloeden. Als eerste is er de natuurlijke variabiliteit, die in vergelijking met fabricagesystemen erg hoog is, omdat veel processen handmatig gebeuren. In tegenstelling tot machines, waarvan doorgaans eenduidig vast te stellen is of ze bezig zijn of niet, zijn mensen altijd bezig, maar lang niet altijd even efficiënt. Van invloed zijn bijvoorbeeld het weer, de kop koffie, maar ook de hoeveelheid werk die nog gedaan moet worden. Aangezien het onmogelijk is al deze grootheden mee te nemen in een model wordt doorgaans de stochast Effective Process Time gebruikt. Deze abstraheert van de individuele bronnen van verstoring. Voor een klantorder kan dit bijvoorbeeld informeel worden geformuleerd als de tijd die aan die order is gewerkt of gewerkt had kunnen worden, vanaf het moment dat die order losgelaten is in het systeem tot aan het gereedkomen ervan. Het zal duidelijk zijn dat de momenten waarop orders het systeem binnenkomen en het systeem weer verlaten nauwkeurig gedefinieerd dienen te worden. Een algoritme waarmee deze EPT's en hun variantie in de praktijk gemeten kunnen worden in fabricagesystemen wordt uit de doeken gedaan in [8]. Dit lijkt zeker toepasbaar in magazijnomgevingen, al dient wel rekening gehouden te worden met de eerder genoemde verschillen tussen fabricagesystemen en magazijnsystemen. Op deze manier zou de verstoringde invloed van idle picks kunnen worden gemeten en kan bepaald worden wat een voorraadnauwkeurigheidsverbetering van zeg 2% naar 1% zou betekenen voor de doorlooptijd van het orderpickproces. Ook de invloed van een ABC-classificering of de invloed van rework veroorzaakt door kwaliteitsproblemen in het pickproces kan zo worden bepaald. Vermoedelijk heeft de reductie van het aantal idle picks in veel gevallen een veel grotere invloed op de efficiëntie dan het bepalen van de meest optimale route door een magazijn.

Validatie en interpretatie

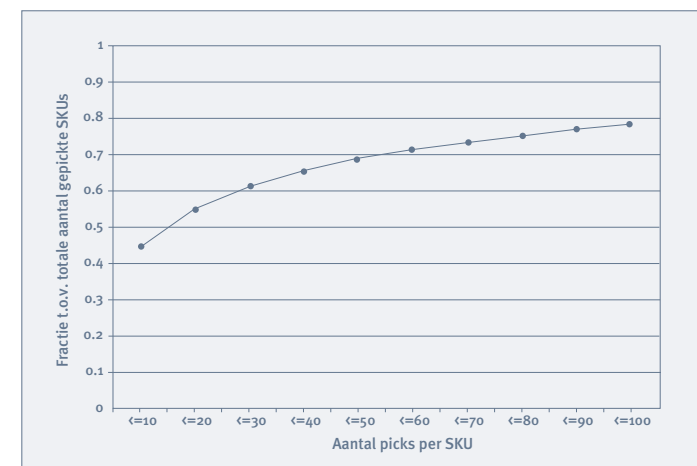
Zowel bij het interpreteren van meetgegevens als bij het maken van een model komt onvermijdelijk de vraag of we wel de juiste conclusies trekken. Interpreteren we datgene wat we gemeten hebben wel juist en representeert het model dat we hebben gemaakt wel de gewenste grootheden op de juiste manier? Dit zijn vragen die nooit met zekerheid zijn te beantwoorden. Van twee modellen kan men formeel bewijzen dat ze hetzelfde zijn, of niet, al is dit ook pas nadat formele definities zijn gegeven van die modellen en wat we bedoelen met 'hetzelfde'.

De (absolute) correctheid van een model kan op zijn best beargumentteerd en gevalideerd worden. Dit is dan ook de verplichting die men heeft als men claimt ergens een model voor te hebben.

Ter illustratie, op dit moment wordt getracht het model voor het opslagproces zoals beschreven in [14] te valideren aan de hand van data van een daadwerkelijk magazijn over een periode van 90 dagen. Hierbij blijken zich twee wezenlijke problemen voor te doen. Het ene probleem is de betrouwbaarheid en de bruikbaarheid van de data. Het tweede is de afbeelding van de data op het voorgestelde model.

grafiek 1

Aantal picks per SKU
relatief t.o.v. het
totaal aantal picks

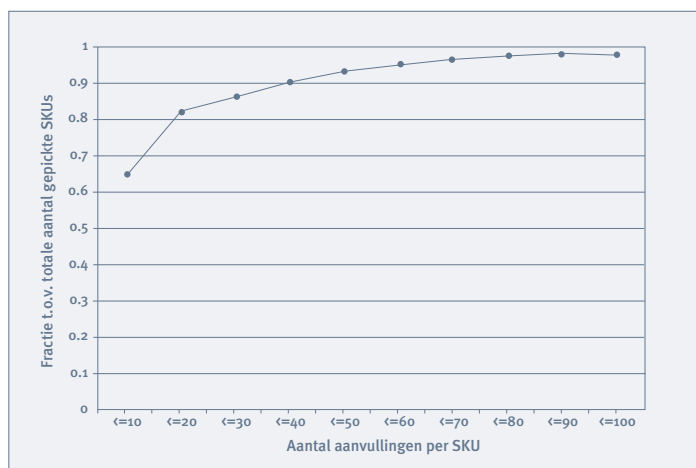


De verkregen data schieten tekort, omdat niet alle parameters die we voor een simulatie nodig hebben worden gemeten. Op korte termijn is hier natuurlijk weinig aan te doen. Verder wijzen bepaalde metingen op een haast oneindige capaciteit in menskracht of ruimte op sommige momenten. Naar alle waarschijnlijkheid worden bepaalde velden in het magazijnsysteem af en toe 'misbruikt' om bepaalde dingen toch te kunnen doen. Een voorbeeld hiervan is het omboeken van grote voorraden van de ene klant naar de andere, hetgeen door de manier van registreren onjuist kan worden geïnterpreteerd als een enorme uitslag, gevolgd door eenzelfde inslag. Dit soort metingen vereist een

zorgvuldige analyse voordat ze verder gebruikt kunnen worden. Ten slotte zijn metingen alleen bruikbaar als ze voldoende representatief zijn. Uit Grafieken 1 en 2 blijkt dat een zeer groot gedeelte van de SKUs (Stock Keeping Units) nauwelijks omzet vertoont. Let wel, de voorraad die in deze periode helemaal niet is gepickt, is niet eens meegenomen! Ook de gebruikelijke beperking tot de 20% van de SKUs die 80% van de omzet genereren biedt geen soelaas, daar de resterende 80% wel het grootste gedeelte van het magazijn in beslag neemt.

grafiek 2

Aantal aanvullingen per SKU relatief t.o.v. het totaal aantal aanvullingen



Het tweede probleem waar we tegenaan liepen was een probleem in het model. Het model ging ervan uit dat de daadwerkelijke aansturing van de goederenstroom terug te vinden zou zijn in de resulterende data, bijvoorbeeld waar uiteindelijk welke goederen komen te liggen. Met andere woorden als snel-, medium- en langzaamlopers worden onderscheiden en als ze op grond daarvan op snel-, medium- en langzaamloper locaties worden neergezet, dan zou je zones moeten kunnen identificeren waar dergelijke groepen van artikelen liggen, eventueel met geringe afwijkingen als gevolg van fouten en overloop. De data wezen echter uit dat de goederen volstrekt willekeurig door het gehele magazijn heen gevonden konden worden, hetgeen het vinden van dergelijke zones onmogelijk maakte. Het fijnste niveau van

abstractie was dus het gehele magazijn als een soort black box, zonder noemenswaardige aansturing. Hoewel dat ook een model is van dat magazijn, is het moeilijk aannemelijk te maken dat optimalisatie van het model door een andere aansturing, een betere magazijnoperatie tot gevolg heeft. Juist die aansturingsaspecten waren immers niet afgebeeld in het oorspronkelijke model van het magazijn. Het opslagmodel ligt dus weer op de tekentafel waarna nieuwe validaties zullen volgen.

In het voorgaande heb ik u een indruk proberen te geven van de uitdagingen die spelen binnen de logistieke wereld en waar en hoe de academische wereld zinvol onderzoek kan doen. Om dit te realiseren is een zekere kritische massa nodig. Gezien het feit dat ik slechts 1 dag per week op de universiteit aanwezig ben kan ik dit niet alleen. Binnen de sectie Systems Engineering waaraan ik verbonden ben is veel expertise op het gebied van fabricagesystemen, meer in het bijzonder op het gebied van optimalisering en regeltechniek waaruit ik hoop te putten. Het verheugt mij ook, dat met de faculteit Wiskunde & Informatica van deze universiteit een samenwerking aan het ontstaan is op het gebied van stochastiek en scheduling. In maart begint een student in het kader van het tweejarige postacademische programma 'Mathematics for Industry' aan een opdracht op het gebied van scheduling in magazijnsystemen. Met de faculteit Technology Management zijn we aan het kijken naar een invulling van het college Magazijnsystemen die past binnen hun opleiding en verder naar samenwerking op het gebied van logistieke systemen. Ten slotte begint in februari een promovendus om de eerder geschetste continue modellen verder uit te werken en met name de praktische toepasbaarheid daarvan aan te tonen.

Er zijn vele mensen die hebben bijgedragen tot mijn ontwikkeling. In het kader van deze oratie past het om twee mensen in het bijzonder te noemen, dankzij wier inspanning deze leerstoel en mijn benoeming mogelijk zijn gemaakt. Eén daarvan is de heer H. Benjamins, voorzitter van de Raad van Bestuur van de Koninklijke Frans Maas Groep N.V., die de samenwerking met de TU/e vanuit deze onderneming mogelijk heeft gemaakt en met raad en daad heeft gestimuleerd. Ik spreek hierbij de hoop uit, maar ook de verwachting, dat de nieuwe Raad van Bestuur die ontstaat bij het vertrek van de heer Benjamins hetzelfde belang hecht aan deze samenwerking met de universitaire wereld. Ten slotte wil ik collega J.E. Rooda, en meer in het algemeen de faculteit Werktuigbouwkunde, bedanken voor het feit dat ik mij mocht aansluiten bij de sectie Systems Engineering om te proberen de aldaar verworven inzichten op het gebied van fabricagesystemen toe te passen en verder uit te breiden op het gebied van magazijnsystemen.

Literatuur

- 1 D.A. van Beek, K.L. Man, M.A. Reniers, J.E. Rooda, R.R.H. Schiffelers, 'Syntax and Consistent Equation Semantics of Hybrid Chi', 119, 04/37, Research Report, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- 2 V. Bos and J.J.T. Kleijn, 'Formal Specification and Analysis of Industrial Systems', Ph.D. Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, 2002.
- 3 E. Doppert, 'Transport in cijfers, editie 2004', Transport en Logistiek Nederland, 2004.
- 4 J.C. Fransoo, M.J.F. Wouters, A.G. de Kok, 'Multi-echelon multi-company inventory planning with limited information exchange', *Journal of Operational Research Society* 52, pp. 830 – 838, 2001.
- 5 M.J.J.J. Gerards, 'Design of a Model for Inbound Warehousing Simulation', Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- 6 F.W. Harris, 'How many parts to make at once', *Factory: The Magazine of Management* 10(2), 1913, pp. 135-136, 152.
- 7 C.A.R. Hoare, 'Communicating Sequential Processes', Prentice Hall, 1985.
- 8 J.H. Jacobs, L.F.P. Etman, E.J.J. van Campen, J.E. Rooda, 'Characterization of Operational Time Variability Using Effective Proces Times', *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 16(3), pp. 511-520, 2003.
- 9 J.W.J. Mulder, 'Optimization of the Order Picking Process', Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- 10 P.S. Pande, R.P. Neumann, R.C. Cavanagh, 'The Six Sigma Way how GE, Motorola, and other Top Companies are honing their Performance', McGraw-Hill, 2000.
- 11 I. Prigogine and R. Herman, 'Kinetic Theory of vehicular Traffic', Elsevier, New York, 1971.
- 12 J.E. Rooda, Personal Communication, 2004.
- 13 J.E. Rooda, J. Vervoort, 'Analysis of Manufacturing Systems', Lecture Notes, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.



- 14 W. Schiffelers, 'Design of a Model for Storage and Order Picking in Warehouse Simulation', Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- 15 A.K. Schoemig, 'On the corrupting influence of variability in semiconductor manufacturing', *Proc. 1999 Winter Simulation Conf.*, D. Sturrock, P.A. Fishwick, P.A. Farrington, and H.B. Nembhard, Eds., Piscataway, NJ, pp. 837-842, 1999.
- 16 S.A.T. Slegers, 'Design of a Model for Outbound Warehousing Simulation', Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Technische Universiteit Eindhoven, 2002.
- 17 J.D. Sterman, 'Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision Making Experiment', *Management Science* 35(3), pp. 321-339, 1989.

Curriculum Vitae

Prof.dr.ir. Jan Tijmen Udding is per 1 februari 2002 benoemd tot deeltijd hoogleraar Design and optimization of warehousing systems aan de faculteit Werktuigbouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

Jan Tijmen Udding studeerde wiskunde aan de Technische Universiteit Eindhoven, waar hij in 1984 promoveerde in de informatica. Hij is daarna een aantal jaren verbonden geweest aan Washington University te St. Louis (USA) onder meer als associate professor. Vervolgens was hij tot 1999 als universitair hoofddocent werkzaam bij de vakgroep Informatica van de Universiteit van Groningen. Sinds 1999 is hij in dienst van de Koninklijke Frans Maas Groep, waar hij verantwoordelijk is voor de geautomatiseerde ondersteuning van de logistieke processen. Hij is een dag per week werkzaam aan de TU/e. De onderzoeksinteresse van Jan Tijmen Udding ligt op het gebied van formele procesbeschrijvingen, in het bijzonder die van logistieke systemen, en de analyse en simulatie daarvan.

Colofon

Productie:
Communicatie Service
Centrum TU/e

Fotografie cover:
Rob Stork, Eindhoven

Ontwerp:
Plaza ontwerpers,
Eindhoven

Druk:
Drukkerij Lecturis,
Eindhoven

ISBN:
90-386-1403-9

Digitale versie:
www.tue.nl/bib/