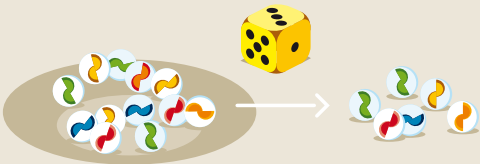


DE **ALIGNMENT**
PUZZEL WHITEPAPER

Rekenmodellen voor
Supply Chain-alignment



1.	Introductie rekenmodellen	3
1.1	Doorlooptijden, wachttijden, voorraadniveaus en serievorming	3
2.	De wet van behoud van wachttijd	4
2.1	Wie wacht er als aanvoer en verbruik niet naadloos op elkaar aansluiten?	4
2.2	Eenvoudig getallenvoorbeeld	5
2.3	De afweging tussen producten laten wachten of klanten laten wachten	6
2.4	Formules: optimale balans tussen <i>klant wacht</i> en <i>product wacht</i>	8
2.5	Getallenvoorbeeld: invloed van vaker omstellen op voorraad en levertijd	9
3.	De formule van Camp voor de Economic Order Quantity (EOQ)	11
3.1	De afleiding van de EOQ-formule	11
3.2	Assumpties van de EOQ-formule	13
4.	Werken met een omstelbudget	16
4.1	Formule om seriegroottes te bepalen vanuit een omstelbudget	17
4.2	Rekenvoorbeeld met omstelbudget	19
4.3	Verdere analyses	21
5.	Berekenen van de veiligheidsvoorraad	21
5.1	Veiligheidsvoorraad tegen onzekerheid	22
5.2	Componenten van de veiligheidsvoorraad	22
5.3	Berekening van de veiligheidsvoorraad	23
5.4	Seizoensinvloeden op de veiligheidsvoorraad	23
5.5	Voorbeeld van een ijsjes-fabrikant	23
6.	Verband tussen efficiency, doorlooptijd en onderhanden werk	24
6.1	Een eenvoudig experiment dat je zelf kunt doen	24
6.2	De relatie tussen efficiency en werk onderhanden	26
6.3	Invloed van de variëteit op de grafiek	27
6.4	Het gebruik van OHW als stuurparameter	27
7.	Uitbreiding van het experiment: kriskrasroutes en wachtrijregels	29
8.	De essentiële rol van buffers en onderhanden werk (OHW)	31
8.1	Harde koppelingen leiden tot verlies van winst en opstapeling van verlies	31
8.2	Tegenstrijdig aan 'Lean'	32
9.	Optimaliseren van de procesketen	33
9.1	Verlagen van de beladingsgraad is duur en heeft maar beperkt effect	33
9.2	De kwalijke invloed van olifantsorders	34
9.3	Verlagen van de variabiliteit in de werkstroom levert veel op	34
9.4	Verhogen van het reactievermogen: flexibele inzet personeel en middelen	34

1. Introductie rekenmodellen

In dit hoofdstuk hebben we een aantal onderwerpen gegroepeerd die naar ons idee heel nuttig zijn als je bezig bent de alignment in de goederenstroom te verbeteren, maar die wellicht voor een aantal lezers wat taai en droog zijn. Daarom hebben we deze onderwerpen ingekort of weggehaald uit de eerste twee delen van dit boek.

Het betreft met name rekenmodellen rond de wet van behoud van wachttijd, formules voor het bepalen van seriegroottes, voorraadhoogtes en doorlooptijden. Ook gaan we uitgebreid in op een paar veelgemaakte fouten en dragen we bezwaren aan tegen bekende methoden om de lezer te behoeden voor valkuilen.

1.1 Doorlooptijden, wachttijden, voorraadniveaus en serievorming

Voorraden vormen de buffers tussen de processen die goederen aanleveren en de processen die goederen verbruiken. Zij zijn essentiële bouwstenen in een goed alignde organisatie.

Het is de taak van voorraadbeheer om ervoor te zorgen dat de juiste goederen in de juiste hoeveelheden op het juiste moment op voorraad beschikbaar zijn. Als producenten of handelsbedrijven te lage voorraadniveaus aanhouden, dan komt het serviceniveau in gevaar. Wanneer de voorraadniveaus te hoog zijn, hebben ze te veel geld te vroeg uitgegeven met negatieve gevolgen voor rente en risico.

Voorraden kun je op verschillende manieren beschouwen: als wachttijd van goederen, als capaciteitsbuffer en als isolatielaag om productieprocessen af te schermen van de hectiek van de markt.

Als je voorraden beschouwt als wachttijd van goederen, die ervoor zorgt dat de klant of de leverancier niet hoeft te wachten, is het nuttig je wat verder te verdiepen in de wet van behoud van wachttijd. Hoe kun je daar mee rekenen en hoe kun je het resultaat van de berekeningen gebruiken om beslissingen te onderbouwen? In de volgende paragraaf gaan we daar op in.

2. De wet van behoud van wachttijd

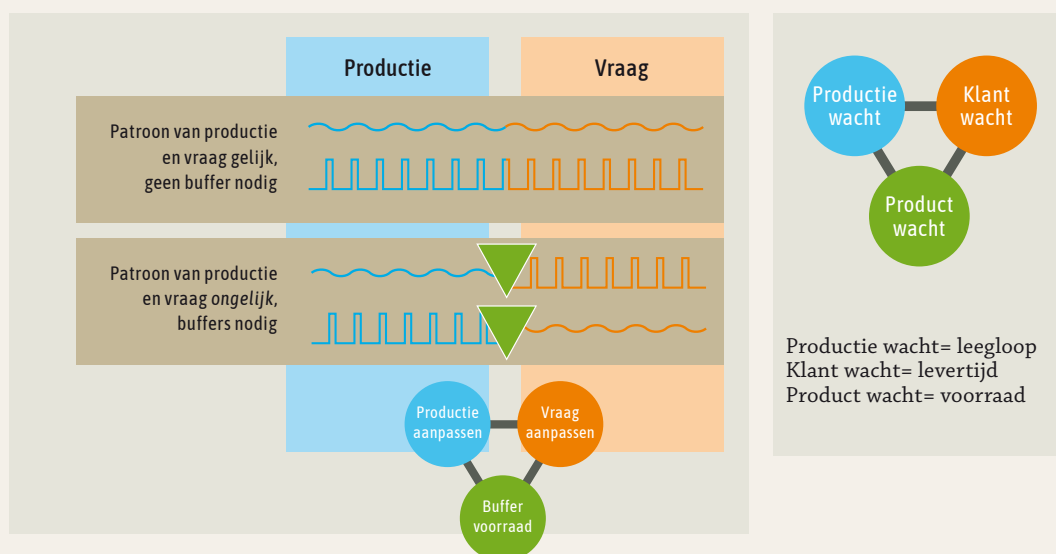
2.1 Wie wacht er als aanvoer en verbruik niet naadloos op elkaar aansluiten?

De wet van behoud van wachttijd stelt dat er altijd iets of iemand moet wachten als de patronen van vraag en aanbod niet perfect op elkaar aansluiten: óf de klant óf de aanbieder óf het product. Of een combinatie daarvan.

Zowel vraag als aanbod kunnen allebei een eigen (natuurlijk) patroon hebben. Bijvoorbeeld de graanoogst die slechts één keer per jaar van het land komt, maar de vraag naar meel en brood is gelijkmatig het hele jaar door. Het gevolg is dat je voorraadvorming of wachtende klanten krijgt. Of neem het voorbeeld van een fabrieksproduct waar iedere dag vraag naar is, maar dat slechts éénmaal per maand wordt geproduceerd om omsteltijden te beperken.

De wet van behoud van wachttijd

Als de patronen van vraag en productie niet perfect op elkaar aansluiten, moet er altijd iets of iemand wachten: óf de klant, óf het product, óf de productie. Of een combinatie daarvan.



2.2 Eenvoudig getallenvoorbeeld

Een eenvoudig getallenvoorbeeld illustreert hoe de totale wachttijd over product, vrager en aanbieder verdeeld kan worden. Stel dat over een periode van zes weken (of zes dagen of zes maanden, dat maakt niet uit) er één aanleverbatch is van zes stuks en vier verkooporders, twee van twee stuks en twee van één stuks. We starten met een voorraadniveau van nul.

Periode	1	2	3	4	5	6	totaal
Vraag		1		2	1	2	6
Aanbod			6				6
Voorraad	0	-1	5	3	2	0	

Als de eerste klantorder binnenkomt in week 2, hebben we geen voorraad, dus de klant moet wachten tot week 3 als een nieuwe productiebatch van zes stuks binnen komt.

Een negatieve voorraad in de tabel hierboven betekent achterstallige vraag, dus dat de klant wacht. We houden dan vijf stuks op voorraad over. In week 4 worden er twee stuks gevraagd, zodat de voorraad daalt naar drie stuks. Enzovoort. We kunnen nu vrij eenvoudig uitrekenen wat de totale wachttijd van klanten en producten is. We drukken dit uit in ‘Stuks maal Dagen’ of kortweg StuksDagen. Als bijvoorbeeld drie producten twee dagen op voorraad liggen is dit zes StuksDagen wachttijd.

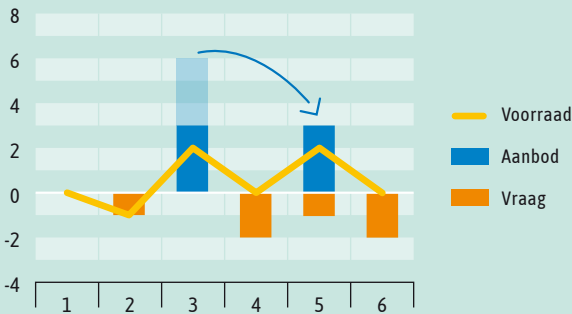
In het gegeven getallenvoorbeeld komen we op totaal elf StuksDagen wachten. Namelijk tien StuksDagen wachten voor het product en één StuksDag wachten voor de klant.

Periode	1	2	3	4	5	6	totaal
Vraag		1		2	1	2	6
Aanbod			6				6
Voorraad	0	-1	5	3	2	0	
Wachttijden							
Klant wacht	0	1	0	0	0	0	1
Product wacht	0	0	5	3	2	0	10
Machine wacht	0	0	0	0	0	0	0
Totaal wachten	0	1	5	3	2	0	11



De machinewachttijd is nog nul omdat we uitgaan van het natuurlijke aanvoerpatroon van de productie. We kunnen ons nu afvragen wat er gebeurt als we besluiten af te wijken van dat aanvoerpatroon om beter aan te sluiten op het vraagpatroon. We kunnen bijvoorbeeld de batch van zes stuks splitsen in twee batches van drie stuks, waarvan er een in week 3 wordt geleverd en een in week 5. We stellen de helft van de productie twee weken uit. We laten de aanvoer wachten.

Periode	1	2	3	4	5	6	totaal
Vraag		1		2	1	2	6
Aanbod			3		3		6
Voorraad	0	-1	2	0	2	0	
Wachttijden							
Klant wacht	0	1	0	0	0	0	1
Product wacht	0	0	2	0	2	0	4
Machine wacht	0	0	3	3	0	0	6
Totaal wachten	0	1	5	3	2	0	11



Door deze aanpassing daalt de gemiddelde voorraad, maar moet de aanvoer van drie stuks twee dagen wachten. Uit de berekening blijkt dat de totale wachttijd nog steeds elf StuksDagen is. Deze is alleen anders verdeeld: klant één StuksDag, product vier StuksDagen en machine zes StuksDagen. Samen weer elf StuksDagen.

2.3 De afweging tussen producten laten wachten of klanten laten wachten

Te hoge voorraden zijn ongewenst met het oog op rente, risico en ruimte. En te lage voorraden zijn ongewenst omdat het servicelevel negatief kan worden beïnvloed. Het vinden van de optimale balans hierin is een van de kernvraagstukken van supply chain-management. Soms is het verstandig de voorraadhoogte te verlagen tot een niveau waarop zo nu en dan een klant even moet wachten op zijn goederen.



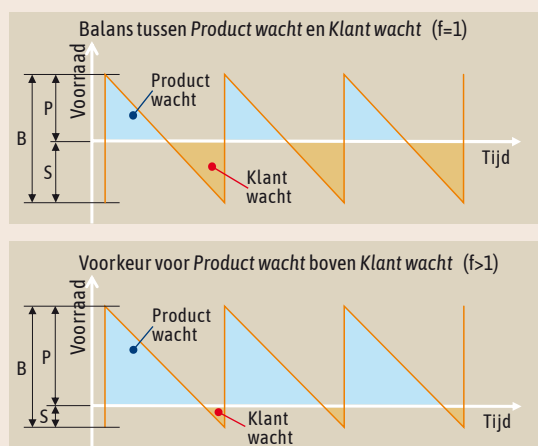
Als we een situatie aantreffen waarin het aanleverpatroon en het vraagpatroon niet goed op elkaar aansluiten en we ze niet kunnen aanpassen, moeten we een keuze maken tussen twee kwaden: laten we de klant wachten of laten we het product wachten? Dit kunnen we sturen door de initiële voorraad en daarmee ook de gemiddelde voorraad te kiezen (onder aanname vanzelfsprekend dat dit mogelijk is).

Bij batchgewijze aanlevering en gelijkmatige vraag ontstaat een zaagtand-patroon voor de voorraad.

Negatieve voorraad betekent dat de klant wacht. Positieve voorraad betekent product wacht. Door meer of minder initiële voorraad te kiezen kunnen we de zaagtand hoger of lager leggen en daarmee de balans tussen Klant-wacht en Product-wacht sturen.

Het is erg moeilijk om de impact op de geldstromen te bepalen van een product dat een dag op voorraad ligt of en klant die een dag op een product moet wachten. Om te voorkomen dat we allerlei arbitraire aannames over toegerekende kosten moeten maken, kiezen we voor een weegfactor (f) die de verhouding weergeeft tussen die twee. Deze weegfactor f drukt uit hoeveel keer men het onaantrekkelijker vindt om een klant een dag op een product te laten wachten dan een product op een klant. Als het allebei even nadelig is zal f gelijk zijn aan 1. Maar meestal zal f groter dan 1 zijn omdat het meestal zo zal zijn dat een klant laten wachten erger wordt gevonden dan voorraad houden.

Wet van behoud van wachttijd de voorraad-zaagtand



Batchgewijs aanleverpatroon met gelijkmatig vraagpatroon zorgt voor een zaagtand-patroon bij de voorraad. Negatieve voorraad: Klant wacht. Positieve voorraad: Product wacht. De weegfactor f bepaalt de optimale balans.

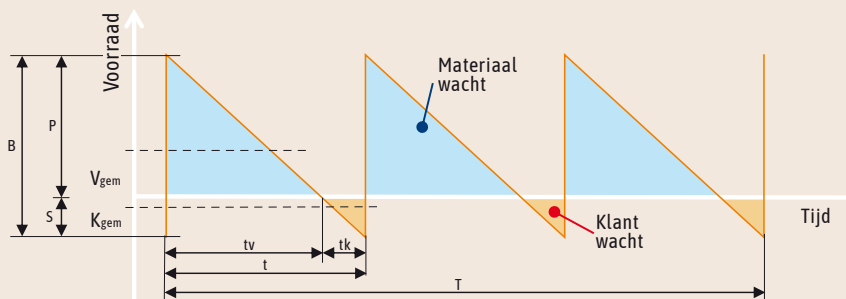
Gebruikte variabelen

- | | |
|---|---|
| B | Batchgrootte |
| S | Het tekort op het moment dat de nieuwe batch arriveert, dus de wachtende klantvraag |
| P | Restant batch na consumptie achterstallige vraag ($P = B - S$) |
| f | Weegfactor die uitdrukt hoeveel maal het erger is om een klant een dag te laten wachten dan een product een dag op voorraad te houden. |
| C | Wachttijd-offer. Wordt berekend als het totaal aantal dagen dat een product wacht plus f maal het aantal dagen dat een klant op een product wacht |

2.4 Formules: optimale balans tussen klant wacht en product wacht

Als we een aantal forse aannames doen over de situatie is het relatief eenvoudig om de formule af te leiden voor het optimale evenwicht. We gaan daarbij uit van een kalender met alleen maar werkdagen en een perfect voorspelbare en gelijkmatige vraag. En we gaan ervan uit dat het mogelijk is om een factor f te bepalen die aangeeft hoeveel dagen we bereid zijn om een product op voorraad te houden om te voorkomen dat een klant één dag moet wachten.

Wet van behoud van wachttijd deterministische versie



Afleiding optimale S

Bepaling van de optimale verhouding tussen klant wacht en materiaal wacht bij gegeven aantal batches, kostenverhouding en (perfect gelijkmatige) vraag.

$$C = V_{\text{gem}} + f * K_{\text{gem}} = \frac{1}{2} P^2 / B + f * \frac{1}{2} S^2 / B$$

$$B = Q / R$$

$$P = B - S = Q / R - S$$

$$C = \frac{1}{2} R * (Q / R - S)^2 / Q + f * \frac{1}{2} S^2 / Q$$

$$C = \frac{1}{2} R / Q * ((Q / R - S)^2 + f * S^2)$$

$$C = R * c = \frac{1}{2} R^2 / Q * ((Q / R - S)^2 + f * S^2)$$

$$C' = R / Q * (1 + f) * S - 1$$

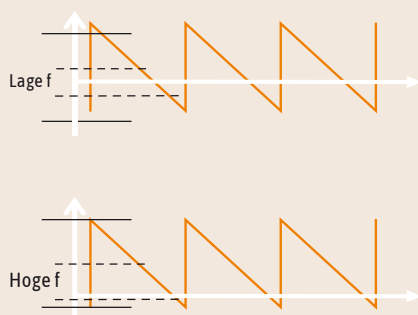
$$C' = 0 \text{ ALS } S = Q / (R + R * f)$$

Gebruikte variabelen – gegevens

T	Lengte van de beschouwde periode
Q	Vraag in beschouwde periode = totale aanbod in de beschouwde periode, uitgedrukt in dagen vraag
R	aantal batches in de gekozen periode
f	factor die uitdrukt hoeveel maal het erger is om een klant een dag te laten wachten dan een product een dag op voorraad te houden.

Gebruikte variabelen – te berekenen

t	cycluslengte tussen twee batches ($t = T / R$)
B	batchgrootte, uitgedrukt in dagen vraag ($B = Q / R$ en $B = t$, uitgedrukt in dagen vraag)
S	Het tekort op het moment dat de nieuwe batch arriveert, dus de wachtende klantvraag, uitgedrukt in dagen vraag. Er geldt een optimale situatie als $S = B / (1 + f) = Q / (R + R * f)$, zie hiernaast
P	Restant batch na consumptie achterstallige vraag ($P = B - S$ en $P = tv$, uitgedrukt in dagen vraag)
V_{gem}	de gemiddelde voorraad gedurende T ($V_{\text{gem}} = \frac{1}{2} P^2 / B$)
K_{gem}	de gemiddelde wachttijd van een klant per product gedurende T ($K_{\text{gem}} = \frac{1}{2} S^2 / B$)
c	Offer van wachtdagen voorraad plus f maal wachtdagen van klanten per cyclus ($c = V_{\text{gem}} + f * K_{\text{gem}}$)
C	Offer wachtdagen voorraad plus f maal wachtdagen van klanten in de beschouwde periode ($C = R * c$)



Met de bovenstaande set van formules kan gemakkelijk berekend worden wat bijvoorbeeld de invloed van het verhogen van het omstelbudget is of seriegrootteverlaging op de gemiddelde voorraad en de klantleveringen. We nemen daarbij aan dat na aanpassing van de series er weer naar het dan geldende optimale evenwicht tussen Materiaal-wacht en Klant-wacht wordt gegaan. Daarnaast gelden vanzelfsprekend de reeds eerder gedane aannames over de perfect-gelijkmatige vraag en de afwezigheid van vakantieroosters.

2.5 **Getallenvoorbeeld: invloed van vaker omstellen op voorraad en levertijd**

We hanteren hier een zo eenvoudig mogelijk voorbeeld om de werking van de hiervoor gegeven formules te illustreren. Stel we hebben een perfecte zaagtand-situatie. We kijken naar één kalenderjaar van 365 dagen waarin we 6 batches produceren, die alle zes even groot zijn. Het totale productievolume is exact even groot als het vraag-volume. Voor de weegfactor *f* kiezen we de factor 20. We laten dus liever aan product 19 dagen op voorraad liggen dan dat een klant één dag op zijn product moet wachten.

Rekenvoorbeeld voor de Wet van behoud van wachttijd deterministische versie

Hoeveel daalt de voorraad en hoeveel beter worden klanten bediend als we kleinere batches maken?

Gebruikte variabelen, gegevens		Alt 0		Alt 1		Alt 2		Alt 3	
T	Lengte van de beschouwde periode	365		365		365		365	
Q	Vraag in beschouwde periode = totale aanbod in beschouwde periode, uitgedrukt in dagen vraag	365		365		365		365	
R	Aantal batches in de gekozen periode	6		9	50%	9	50%	12	100%
f	Factor die uitdrukt hoeveel maal het erger is om een klant een dag te laten wachten dan een product een dag op voorraad te houden	20		20	0%	100	400%	20	0%

Gebruikte variabelen, te berekenen									
t	Cycluslengte tussen twee batches	$t = T/R$	60,8	40,6		40,6		30,4	
B	Batchgrootte, uitgedrukt in dagen vraag	$B = Q/R$ $B = t$	60,8	40,6		40,6		30,4	
S	Het tekort op het moment dat de nieuwe batch arriveert (wachtende klantvraag) bij optimale balans tussen Klant wacht en Product wacht	$S = B / (1+f)$ $S = Q / (R + R*f)$	2,9	1,9		0,4		1,4	
P	Restant van de batch na consumptie achterstallige vraag	$P = B - S$	57,9	38,6		40,2		29	
V _{gem}	De gemiddelde voorraad gedurende T	$V_{gem} = \frac{1}{2} P^2 / B$	27,6	18,4	-33%	19,88	-28%	13,79	-50%
K _{gem}	De gemiddelde wachttijd van een klant per product gedurende T	$V_{gem} = \frac{1}{2} S^2 / B$	0,07	0,05	-33%	0,00	-97%	0,03	-50%
c	Offer wachtdagen voorraad plus f maal wachtdagen klanten per dag	$c = V_{gem} + f * K_{gem}$	29,0	19,3		20,1		14,5	
C	Offer wachtdagen voorraad plus f maal wachtdagen klanten in periode T	$C = T * c$	10573	7049	-33,3%	7328	-30,7%	5287	-50,0%

In deze berekening zijn in kolom met Alt0 de berekeningsresultaten weergegeven. We bereiken een optimale situatie als we de gemiddelde voorraad gedurende het jaar op 27,59 stuks houden en de klant een gemiddelde levertijd geven van 0,07 dagen. Dat wordt bereikt als we een nieuwe batch laten arriveren op het moment dat er 2,9 stuks achterstallige vraag is. Dat is vrij laag, en dat komt omdat de factor f vrij fors is gekozen (20). Het totale wachttijdoffer komt op 10.573 StuksDagen.

Interessant is nu om te kijken wat de impact zal zijn van een verandering van het omstelbudget. Stel dat we door een bepaalde investering ineens de helft meer kunnen omstellen. Dus we kunnen 9 series draaien in plaats van 6. We gaan nog steeds uit van een gelijkmatige vraag, dus die series zijn dan vanzelfsprekend ook 33% kleiner. Wat is de impact op voorraadniveau en klantlevertijd?

De berekeningsresultaten zijn weergegeven onder de kolom met Alt1. Zowel de gemiddelde voorraad als de gemiddelde levertijd en het totale wachttijdoffer komt 33% lager uit. Klanten hoeven nu gemiddeld nog maar 0,05 dagen te wachten. Of duidelijk gezegd: 19 van de 20 klanten kunnen het product direct meenemen en slechts een van de 20 klanten krijgt een dag levertijd.

Zo kunnen we ook kijken wat de invloed is van factor f . Als we die verhogen van 20 naar 100 zal de balans wat verschuiven ten gunste van minder Klant-wachttijden. Die daalt weer 97% en is niet meer in twee decimalen achter de komma uit te drukken. De voorraad gaat echter omhoog. Klanten wachten minder, maar producten wachten meer.

In de kolom onder Alt3 is aangegeven wat de impact is als het aantal omstellingen nogmaals verhoogd wordt en de weegfactor terug naar de oude waarde gaat. Enzovoort. De spreadsheet is eenvoudig na te bouwen en ook kosteloos te downloaden vanaf www.alignmentpuzzel.nl zodat je met eigen waarden kunt experimenteren.

3. De formule van Camp voor de Economic Order Quantity (EOQ)

3.1 De afleiding van de EOQ-formule

De meest bekende manier om een seriegrootte te bepalen is de zogenaamde EOQ-formule (Economic Order Quantity), ook wel de formule van Camp genoemd. Omdat de formule zo bekend is, is het des te verontrustender dat de vooronderstellingen, aannames en voorwaarden waaronder de formule gebruikt mag worden en vooral wanneer ze niet gebruikt mag worden, veel minder bekend zijn. Dat is een bron van veel problemen en misalignment, vandaar dat wij hier aandacht aan besteden.

Laten we beginnen met een korte uitleg over de formule. Zij gaat uit van een zaagtand-patroon. Dus batchgewijze aanlevering bij een gelijkmatige vraag. Zij maakt een afweging tussen voorraadkosten en omstelkosten. Hoe groter de series, hoe minder omstellingen er per jaar hoeven te worden gedaan en dus hoe minder omstelkosten.

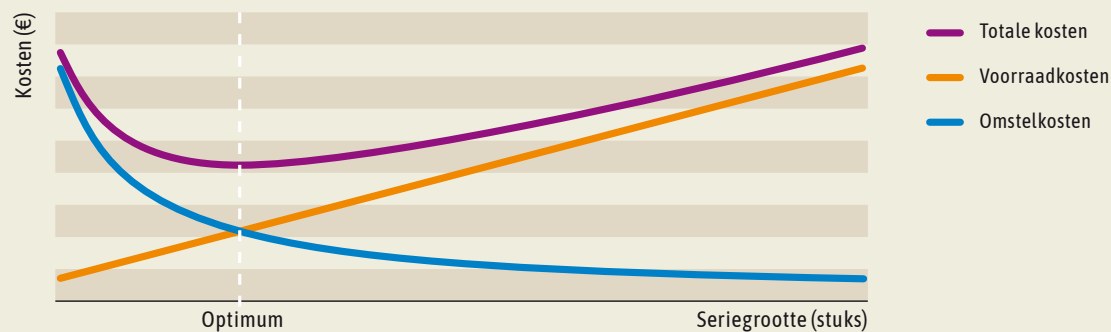
Daar staat tegenover dat grote series tot hoge voorraden leiden. De seriegroottevoorraad is gelijk aan de helft van de seriegrootte. Dat is dus de hoeveelheid goederen die gemiddeld gedurende het jaar op voorraad ligt, naast de veiligheidsvoorraad.

De voorraadkosten vormen als functie van de seriegrootte een rechte lijn. De omstelkosten zijn omgekeerd evenredig met het aantal omstellingen en vormen een hyperbool. Als je die twee bij elkaar optelt ontstaat een functie met een minimum op het snijpunt van de twee lijnen.

In deze afbeelding is weergegeven hoe door middel van het bepalen van de afgeleide en het nulstellen daarvan kan worden berekend dat de minimale kosten worden bereikt als de seriegrootte gelijk is aan de wortel uit twee maal de vraag maal de omstelkosten gedeeld door de voorraadkosten.

Een eenvoudig rekenvoorbeeld illustreert het gebruik: stel dat de kosten S om één omstelling uit te voeren €20 bedragen, dat de kosten V om één product één jaar op voorraad te houden €1 bedragen en dat de jaarvraag D 1000 stuks bedraagt. Dan is de $EOQ = \text{WORTEL}(2 \cdot 20 \cdot 1000 / 1) = 200$. Volgens deze benadering is het dus het meest economisch om vijf keer per jaar een serie van 200 stuks te produceren.

Berekening van de Economische seriegrootte Q_{opt} (Formule van Camp)



Afleiding van de formule

Bepaling van de optimale verhouding tussen klant wacht en materiaal wacht bij gegeven aantal batches, kostenverhouding en (perfect gelijkmatige) vraag.

$V_{jr} = Q/2 \times V$ (Gem. halve batch op voorraad)

$S_{jr} = D/Q \times S$ (Aantal keer omstellen per jaar)

$C_{jr} = V_{jr} + S_{jr} = Q/2 \times V + D/Q \times S$

$C'_{jr} = V/2 - S \times D/Q^2$

$C'_{jr} = 0 \text{ ALS } Q^2 = (2SD/V)$

$Q_{opt} = \sqrt{2SD/V}$

Gebruikte variabelen – gegevens

D	stuks	Jaarvraag
V	€	Voorraadkosten per stuk per jaar
S	€	Kosten per setup (omstelkosten)

Hulpvariabelen

Q	stuks	Seriegrootte
V_{jr}	€	Voorraadkosten per jaar
S_{jr}	€	Setup-kosten per jaar
C_{jr}	€	Totale kosten per jaar

Berekeningsresultaat

Q_{opt}	stuks	De optimale seriegrootte
-----------	-------	--------------------------

Voorbeeld

Perfect gelijkmatige jaarvraag $D = 1000$ stuks
Voorraadkosten $V = € 1$ per stuk per jaar
Omstelkosten $S = € 20$ per setup

$Q_{opt} = \sqrt{2SD/V} = \sqrt{2 \times 20 \times 1000 / 1} = 200 \text{ stuks}$

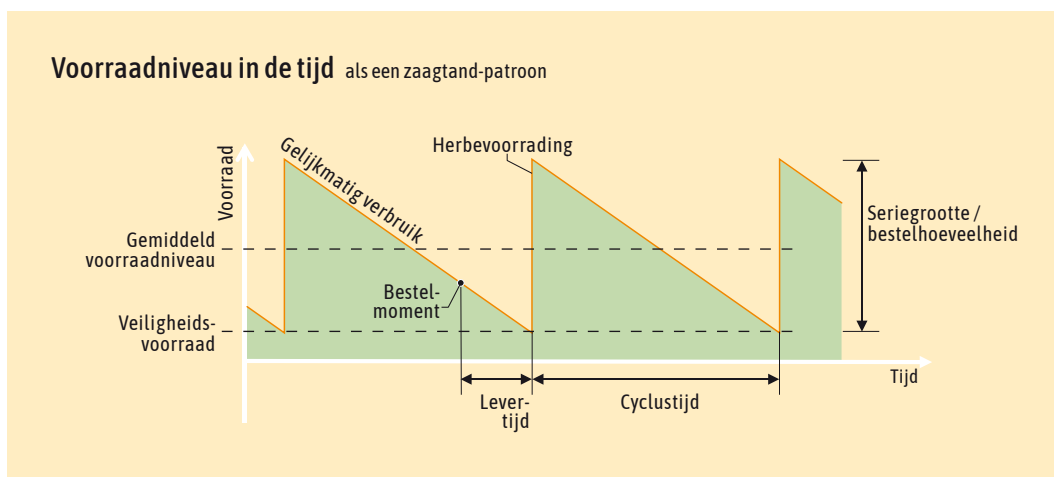
3.2 Assumpties van de EOQ-formule

Er zijn zes belangrijke aannames in de EOQ-formule. Het is raadzaam deze volledig te begrijpen voordat je de formule toe gaat passen.

1. Er is een perfect gelijkmatige vraag (elke dag hetzelfde aantal).
2. De kosten per omstelling zijn constant, ze veranderen niet wanneer het aantal omstellingen per jaar toeneemt door routine-effecten en ze zijn niet afhankelijk van de voorgaande productinstelling.
3. Voorraadkosten per product zijn constant. Dat betekent dat de voorraadkosten lineair zijn met de voorraadhoogte en dus niet stapsgewijs veranderen wanneer de niveaus erg hoog of laag zijn.
4. De toegerekende kosten voor voorraden en omstellingen vertegenwoordigen de reële economische impact op de kasstromen op lange termijn.
5. Er zijn geen andere economische gevolgen (zoals kwantumkortingen of boetes voor lege vrachtwagens) die van invloed zijn op de bepaling van seriegroottes.
6. De doorlooptijd van de aanvulling is kleiner dan de cyclustijd van het product.

Deze zes aannames worden hieronder besproken.

1. **Er is een perfect gelijkmatige vraag.** Verrassend genoeg wordt de meest voor de hand liggende veronderstelling, die voor een gelijkmatige vraag, in veel leerboeken die tegenwoordig in het onderwijs worden gebruikt helemaal niet genoemd. Dit is zeer onterecht. Het gemiddelde voorraadniveau is gelijk aan de veiligheidsvoorraad plus de helft van de batchgrootte, maar alleen als de zaagtanden mooie driehoeken zijn. Dit is alleen het geval als de vraag erg gelijkmatig is, en elke dag van het jaar hetzelfde. Een kleine afwijking hierin is misschien geen probleem, maar wat als de vraag een sterk seizoenspatroon vertoont of erger nog, als de totale jaarvraag bestaat uit slechts vier grote orders? Dit is wat we een 'Lumpy'-vraag noemen.



Veel situaties met een Lumpy-vraag zijn niet afkomstig van een volatiele markt, maar worden door planners zelf gecreëerd in een productieomgeving. Denk aan onderdelen in een eindproduct. Stel dat een bepaald eindproduct twee keer per jaar wordt geproduceerd in batches van 1000 stuks. Dan heeft het natuurlijk geen zin om een uniek onderdeel voor dat eindproduct drie keer per jaar te gaan maken in batches van 633 stuks. Een pracht van een alignmentprobleem, volledig veroorzaakt door ondoordacht toepassen van een formule waarvan de assumpties niet worden begrepen.

2. **De kosten per omstelling zijn constant, ze veranderen niet wanneer het aantal omstellingen per jaar toeneemt door routine-effecten.** De EOQ-formule gaat uit van een lineaire relatie tussen de jaarlijkse bestelkosten en het aantal bestellingen of (in productie) de jaarlijkse instelkosten en het aantal omstellingen.

Dus deze assumptie gaat ervan uit dat als je elke maand een bepaalde set-up voor een machine uitvoert, dat dit twaalf keer zoveel kost als het slechts één keer per jaar uitvoeren van deze set-up.

In de meeste gevallen zal dit niet waar zijn. Door een leereffect zal de taak steeds efficiënter worden uitgevoerd, wat resulteert in lagere instelkosten per set-up wanneer de batchgrootte afneemt.

Aan de andere kant geven leveranciers bij externe inkoop vaak kwantumkorting bij het bestellen van grote partijen. Dus volgens deze factor kunnen de bestelkosten worden gecompenseerd (of zelfs beter) wanneer de batchgroottes toenemen.

Een zuiver lineair verband is daarom vaker een uitzondering dan een regel.

3. **Voorraadkosten per product zijn constant. Dat betekent dat de voorraadkosten lineair zijn met de voorraadhoogte en dus niet stapsgewijs veranderen wanneer de niveaus erg hoog of laag zijn.** De EOQ gaat ervan uit dat er een lineair verband is tussen batchgrootte en voorraadkosten. Laten we het veel gebruikte en nog vaker misbruikte begrip 'Voorraadkosten' eens nader bekijken.

Voorraadkosten worden vaak berekend als een kostenfactor vermenigvuldigd met de waarde van de voorraad. Maar beide factoren zijn discutabel. De voorraadkostenfactor is opgebouwd uit meerdere componenten en kan oplopen tot 25%.

Een voorbeeld:

Risico op veroudering en incurantie	10 %
Kapitaalkosten WACC	5 %
Handlingskosten	4 %
Bestelkosten	3 %
Opslagkosten	2 %
Verzekeringskosten	2 %
Totale voorraadkosten	€ 60

Bekijk nu al deze componenten en stel jezelf de vraag of deze verdubbelen als de batchgrootte wordt verdubbeld. En of ze worden gehalveerd als de batchgrootte wordt gehalveerd. Voor veel componenten geldt een dergelijk gedrag helemaal niet.

Neem de eerste component, Risico op veroudering en incurantie. Hier is absoluut geen sprake van een lineair verband. Hoe hoger de voorraden, hoe groter het risico op veroudering en incurantie. Bij producten die wekelijks worden geproduceerd, is het risico waarschijnlijk nihil, maar voor producten die maar één keer per jaar worden geproduceerd, bestaat het risico dat na vijf maanden de vraag plotseling afneemt.

De afhandelingskosten zijn afhankelijk van de bewegingen in het magazijn en de bestelkosten zijn afhankelijk van het aantal bestellingen. Een beweging van een hele pallet kost even veel tijd als een beweging van een halve pallet. Afhandelingskosten en bestelkosten zijn niet lineair gecorreleerd met het voorraadniveau of de tijdsperiode dat de voorraad in opslag zal blijven.

Het gedrag van de opslagkosten kan zeer complex zijn. Heb je een eigen magazijn en is er voldoende vrije ruimte, dan veranderen de kosten niet met het voorraadniveau. Maar als je geen ruimte hebt, kan het huren van externe ruimte of een nieuw magazijn bouwen erg duur zijn.

Kortom, de aanname van een lineaire relatie tussen voorraadniveau en voorraadkosten is in het beste geval een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid en in het slechtste geval gewoon helemaal fout.

4. **De toegerekende kosten vertegenwoordigen de reële economische impact op de kasstromen op lange termijn.** De vraag hier is of de kostencijfers echt de impact weergeven op de cashflows of dat het gewoon toewijzingen zijn van verzonken kosten en andere kosten die niet zullen veranderen met de beslissing voor een bepaalde batchgrootte. De economische realiteit bestaat uit geld op de bankrekening en het in- en uitgaan van kasstromen. Bestuurlijke boekhoudkundige informatie over kosten en waarden zijn hier alleen geconstrueerde afgeleide producten van.

Stel dat we een voorraadwaarde van € 8 miljoen hebben en we hanteren een voorraadkostenfactor van 25%. Stel ook dat we besluiten om alle batchgroottes sterk te verkleinen, zodat we binnen een jaar de helft van de voorraad hebben van slechts € 4 miljoen. Stel ook dat we dit kunnen doen zonder extra instel- of bestelkosten. En kwantumkortingen bestaan niet en alle andere factoren zoals omzet en kosten zullen precies hetzelfde zijn.

We realiseren dus een halvering van voorraadkosten van een miljoen euro ($= 25\% \times € 4 \text{ miljoen}$).

Zullen we in die situatie dan ook een winststijging van een miljoen euro zien?

Natuurlijk niet! Je moet kijken naar de echte kasstromen, niet naar vage, afgeleide begrippen. Welke van de kasstromen zullen veranderen en hoeveel?

De instelkosten bestaan soms voor een groot deel uit machine-uren. Deze uren bestaan meestal uit verzonken kosten, dus deze zullen niet veranderen met de beslissing om de

capaciteit al dan niet in te zetten voor de opbouw. Een uur setup voor een machine met overcapaciteit kost niets, een uur setup op een machine die een bottleneck is, kost de meerwaarde van een uur van het bedrijf.

De enige verandering op de bankrekening is een vertraging in het betalen van leveranciers voor de grondstoffen, omdat de inkoop van grondstoffen tijdelijk wordt verlaagd totdat de voorraadniveaus een nieuw, lager niveau hebben bereikt. Dit zal leiden tot een vermindering van de rente, risico en verzekering over de inkoopwaarde, dat is alles. Tenzij we de klus kunnen klaren met minder personeel, minder gebouwen, enzovoort, maar dat is niet aangenomen in dit voorbeeld.

5. **Er zijn geen andere economische gevolgen.** In sommige situaties spelen andere economische factoren een belangrijke rol, zoals kwantumkortingen of vaste hoeveelheden (dozen, volle vrachtwagen) om maximum voorraadniveaus in bijvoorbeeld koelruimtes. De formule voor EOQ houdt geen rekening met deze effecten. Let er bij het gebruik van de formule op dat deze aspecten in de betreffende situatie geen rol spelen.
6. **De levertijd van de aanvulling is korter dan de cyclustijd.** In het EOQ-model van Camp wordt aangenomen dat de levertijd voor aanvulling veel korter is dan de cyclustijd van het product. Maar wat als de doorlooptijden erg lang zijn? Zoals wanneer een product overzee wordt besteld? Het kan dan voorkomen dat er meerdere orders nog onderweg zijn terwijl de volgende order wordt geplaatst. En als voorraden onderweg op een schip zitten, hoe gaan we dan om met het begrippen als voorraadkosten?

4. Werken met een omstelbudget

Vaak is het verstandiger om met een budget voor omstellen te werken voor alle producten die door een bepaalde machine moeten worden geproduceerd. Hierbij wordt alle beschikbare capaciteit optimaal wordt benut.

Als een machine overcapaciteit heeft, is het misschien geen probleem om de batchgrootte van één product te verkleinen, maar het verminderen van de batches van alle producten tegelijk kan een capaciteitsprobleem veroorzaken. Het berekenen van de batchgrootte van één enkel product kan dus niet tot de optimale situatie leiden. Je moet het pakket van alle producten bekijken en de beschikbare instelcapaciteit op de optimale manier toewijzen, rekening houdend met instellingsverliezen, personeelskosten, waarde van componenten en grondstoffen, mogelijke kosten van flexibele extra capaciteit, enzovoort. De berekeningen hiervoor zijn wat complexer dan de EOQ-formule.

4.1 Formule om seriegroottes te bepalen vanuit een omstelbudget

Voor het verdelen van het beschikbare omstelbudget kan de formule van Veltman-Van Donselaar worden gebruikt¹. Deze gaat uit van een vaste capaciteit per periode, en een vast pakket van producten dat geproduceerd wordt.

De hoeveelheden van de producten die geproduceerd worden staan vast. Er kan dan een deel van de capaciteit worden aangewezen als omstelbudget, eventueel na reserveren van een deel van de capaciteit als 'slack'. Dat is een deel van de capaciteit dat bewust niet wordt ingepland maar vrij wordt gelaten om onzekerheid op te vangen en doorlooptijden te beheersen.

De vraag is nu hoe de tijd in het beschikbare omstelbudget zodanig over de producten verdeeld kan worden dat het netto-geldstroomeffect geoptimaliseerd wordt.

Dit is een andere benadering dan de formule van EQO. Met name wordt ervan uitgegaan dat het uitvoeren van omstellingen niet gepaard gaat met een impact op de cashflow. Dat is het geval als er geen materiaalverliezen per omstelling plaatsvinden en er geen gebruik wordt gemaakt van flexibele capaciteit. De impact die de seriegrootte op de cashflow heeft, bestaat alleen uit het uitstellen van grondstofaankopen, of eigenlijk dus over de rente over de inkoopwaarde.

Verdere aannames zijn:

- Er is een perfect gelijkmatige vraag (elke dag hetzelfde aantal).
- De tijdbesteding per omstelling is constant, ze veranderen niet wanneer het aantal omstellingen per jaar toeneemt door route-effecten en ze zijn niet afhankelijk van de voorgaande productinstelling.
- Er zijn geen materiaalverliezen door omstellen.
- Er zijn geen andere economische gevolgen (zoals kwantumkortingen of boetes voor lege vrachtwagens) die van invloed zijn op de bepaling van seriegroottes.
- Er zijn geen complicaties met betrekking tot opslagruimte van voorraden.
- De doorlooptijd van de aanvulling is kleiner dan de cyclustijd van het product.

Onder deze aannames kan het seriegroottevraagstuk worden geformuleerd als het verdelen van de beschikbare omstelbudget zodanig dat de grondstofwaarde van de seriegroottevoorraden wordt geminimaliseerd. De gegevens die per product een rol spelen zijn de omsteltijd, de vraag per periode en de inkoopprijs van de grondstoffen.

Merk op dat er twee grootheden zijn die geen invloed op de uitkomst hebben: het rentepercentage en de bewerkingstijden per product. In de benadering van de formule van Camp spelen

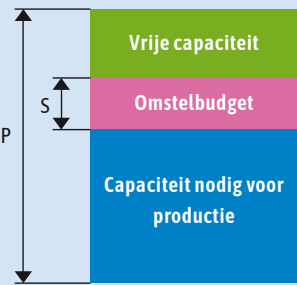
1 Hans Veltman (IPL-TNO) en Karel van Donselaar (TUE). Seriegroottebepaling in productiesituaties waar capaciteit een dominante factor is. *Bedrijfskunde, tijdschrift voor modern management*. 1993, nummer 3.

deze waarden wel een belangrijke rol door de bepaling van de voorraadwaarde. Er werd namelijk gewerkt met een rentepercentage over de kostprijs (inclusief bewerkingstijd) van het product.

Volgens Veltman en Van Donselaar zijn deze waarden echter niet relevant in de besluitvorming. Aangenomen dat de beschikbare capaciteit vaststaat en de uitgaven daarvoor ook, spelen bewerkingstijd per product, kostprijswaarde en rentepercentage dus geen rol.

In de afbeelding is de berekening volgens het omstelbudget weergegeven.

Seriegrootte op basis van omstelbudget



Opgave

Uitgaande van een omstelbudget (in 'uren per periode'), kies de seriegroottes zó dat de uitgaven voor voorraadhouden geminimaliseerd worden.

Kies voor alle producten $i=1\dots n$ de optimale seriegrootte Q_i , zodanig dat:

- $\sum Q_i \cdot V_i = \text{minimaal}$
- $\sum S_i \cdot D_i / Q_i < S$

(waarin $\sum$ betekent: sommeer over alle producten $i, 1\dots n$)

Gebruikte variabelen – gegevens

D_i	stuks	Jaarvraag naar product i gedurende één periode
V_i	€	Uitgaven om één product i één periode op voorraad te houden
S_i	uur	Capaciteit om het productiemiddel om te stellen naar product i
S	uur	Omstelbudget, de beschikbare capaciteit om omstellingen uit te voeren (voor alle producten) gedurende één periode
n	stuks	Het aantal producten in de portfolio
P	uur	De totaal beschikbare capaciteit van het productiemiddel gedurende één periode voor productie, omstellen en vrije capaciteit

Berekeningsresultaat

Q_i	stuks	De optimale seriegrootte voor product i
R		een hulpvariabele in de berekening, systeemconstante

Oplossing

$$Q_i = R / S \cdot \sqrt{S_i \cdot D_i / V_i}$$

Waarin $R = \sum \sqrt{D_i \cdot V_i \cdot S_i}$

4.2 Rekenvoorbeeld met omstelbudget

In de onderstaande tabel is een rekenvoorbeeld opgenomen voor een eenvoudige productiesituatie van 10 producten. Het management hanteert een ‘slack’-capaciteit van 10% (200 uur per jaar) om onzekerheid op te vangen en de doorlooptijd te beheersen. Na aftrek van de benodigde productiecapaciteit blijft er een omstelbudget van 200 uur per jaar beschikbaar.

De kunst is nu om deze beschikbare omsteltijd zodanig te verdelen over de tien producten dat er een optimaal effect op de netto geldstromen is. In de gegeven situatie is alleen het tijdstip van het aanschaffen van de grondstoffen hierin beïnvloedbaar, en dus alleen de rente over de uitgaande betaling die uitgesteld kan worden. Dit komt erop neer dat we de inkooprij van de grondstoffen van de eindproducten in de seriegroottevoorraad willen minimaliseren.

Getallenvoorbeeld seriegrootte op basis van omstelbudget I

Algemene gegevens		
Rente	5%	per jaar
Beschikbare capaciteit per jaar	2.000	uur per jaar
Benodigde capaciteit productie	1.600	uur per jaar
Slack in capaciteit	2.000 x 10% = 200	uur per jaar
Omstelbudget C	200	uur per jaar

Gegevens per product				Berekeningen			Uitwerkingen				
Product	Vraag D (stuks per jaar)	Omsteltijd per serie S _i	Inkoop grondstof per stuk (€)	Rente cash- flow 1st. 1jr. op voorraad V _i (€)	QSRT (V * D * c)	Q _{opt} = R/C * SQRT(Dc/V)	Aantal series p/jaar	Gemid- delde voorraad (stuks)	Inkoop- waarde (€)	Uitgaande cashflow (€)	Omstel- tijd p/jaar (uur)
1	1.000	1	€ 100	€ 5,00	70,7	92,3	10,8	46,2	€ 4.616	€ 231	10,8
2	1.000	2	€ 100	€ 5,00	100,0	130,5	7,7	65,3	€ 6.527	€ 326	15,3
3	1.000	1	€ 200	€ 10,00	100,0	65,3	15,3	32,6	€ 6.527	€ 326	15,3
4	1.000	1	€ 250	€ 12,50	111,8	58,4	17,1	29,2	€ 7.298	€ 365	17,1
5	1.000	1	€ 300	€ 15,00	122,5	53,3	18,8	26,6	€ 7.994	€ 400	18,8
6	1.000	1	€ 350	€ 17,50	132,3	49,3	20,3	24,7	€ 8.635	€ 432	20,3
7	1.000	1	€ 500	€ 25,00	158,1	41,3	24,2	20,6	€ 10.321	€ 516	24,2
8	1.000	2	€ 550	€ 27,50	234,5	55,7	18,0	27,8	€ 15.308	€ 765	35,9
9	1.000	2	€ 200	€ 10,00	141,4	92,3	10,8	46,2	€ 9.231	€ 462	21,7
10	1.000	2	€ 180	€ 9,00	134,2	97,3	10,3	48,7	€ 8.758	€ 438	20,6
					R=1.305,5		153,3	367,9	€ 85.216	€ 4.261	200,0

De beschikbare omsteltijd wordt verdeeld over de 10 producten op basis van de jaarvraag, de omsteltijd per serie en de voorraadwaarde. Hoe hoger de vraag en de omsteltijd, hoe groter de serie. Hoe hoger de prijs van de grondstoffen, hoe lager de serie. De verdeling vindt plaats op basis van de wortel uit deze verhouding. Er is nog een systeemconstante R nodig om de verhouding om te zetten naar concrete seriegroottes. In het gegeven voorbeeld komt de systeemconstante R op 1305,5. (NB: R is de naam die we gaven aan de term die we apart namen uit de formule op de vorige pagina).

We zien dat er totaal 153 series per jaar worden gemaakt. Product 7 krijgt de meeste series (24) door de korte omsteltijd en de hoge prijs voor de grondstof.

De grondstofwaarde van de gemiddelde voorraad is € 85.216.

Interessant is nu om eens te onderzoeken hoe deze geldstroom wordt beïnvloed bij verschillende beslissingen van het management. Neem als voorbeeld dat men overweegt om een investering in de machine te doen die alle productie- en omsteltijden met 5% verbetert. We nemen aan dat de beschikbare capaciteit die hierdoor vrijkomt volledig ten gunste komt aan het omstelbudget.

Het verband tussen omstelbudget en voorraadwaarde is lineair. Laat je niet verwarren door het wortelteken in de formule. De systeemconstante R heeft namelijk de grootheden ook onder het wortelteken, zodat de verbanden toch weer lineair zijn, althans als alle omsteltijden van alle producten met dezelfde factor wijzigen.

We kunnen de spreadsheet opnieuw invullen met de nieuwe waardes, maar we kunnen ook op basis van de lineaire verbanden snel tot een resultaat komen. Vrij eenvoudig kunnen we dan vaststellen dat door het verkorten van de benodigde bewerkingstijd (van tot 1600 uur naar 1520 uur) het omstelbudget van 200 naar 280 uur per jaar kan gaan. Dat betekent 71% kleinere series. Doordat echter ook de omsteltijden zelf met 95% worden vermenigvuldigd zullen de seriegroottes op $71\% * 95\% = 68\%$ komen. Dat is dus maar liefst 32% kleinere series door 5% efficiencyverbetering.

De inkoopwaarde van de seriegroottevoorraad van de producten zal met dezelfde factor dalen, waardoor een bedrag van $(1-68\%) * €85.216 = €27.391$ vrijkomt zodra alle producten één keer geproduceerd zijn. En dat is snel omdat alle producten minimaal 7 keer per jaar geproduceerd worden. De investering is dus gunstig.

Mocht je het in detail na willen rekenen, dan kan je de spreadsheet downloaden van www.alignmentpuzzel.nl. De beginwaardes zijn reeds ingevuld, en je kunt zelf de impact van de getallen op de resultaten naspelen.

Getallenvoorbeeld seriegrootte op basis van omstelbudget II

Hoe gedraagt de seriegrootte zich bij verandering van omstelbudget en omsteltijden?

Voorbeeld

Door een investering van € 10.000 worden alle bewerkingstijden en omsteltijden 5% korter.

- Omstelbudget gaat van 200 naar 280 uur per jaar.
Immers: $2000 \text{ uur} - (0,95 \cdot 1600 \text{ productie}) - (10\% \cdot 2000 \text{ vrij})$
= 280 uur per jaar.
- Per uur kunnen 5% meer omstellingen gedaan worden.

Dus

- De gemiddelde seriegrootte daalt met factor $200/280 \cdot 0,95 = 68\%$.
- De inkoopprijs grondstoffen voor de seriegroottevoorraad gaat naar $\text{€ } 85.216 \cdot 68\% = \text{€ } 57.825$.
- Het voordeel van € 27.391 is veel groter dan de investering van € 10.000.

Dus de investering is in dit geval gunstig en is ruimschoots terugverdiend zodra elk product één keer gemaakt is!

Merk op dat we het hier over reële geldstromen hebben mits we de inkopen van grondstoffen precies kunnen afstemmen op de behoeftes in productie. Door het verlagen van de seriegrootte zijn er minder grondstoffen nodig, waardoor de inkopen dalen en er direct een cashflowvoordeel is. Er wordt dus niet gewerkt met onduidelijke opslagpercentages of aannames.

4.3 Verdere analyses

Het is interessant om te onderzoeken wat er met de goederenstroom, voorraadniveaus en servicelevels gebeurt als de verhouding tussen vrije capaciteit en omstelbudget wijzigt. Vrije capaciteit is nodig om onregelmatigheid en onzekerheid op te vangen en doorlooptijden in de hand te houden. Als de variëteit laag is, kun je dus meer capaciteit toewijzen aan het omstelbudget. Als de variëteit hoog is, zal het omstelbudget kleiner worden gemaakt, maar dat leidt tot grotere series die op zich weer voor verhoging van de variëteit zorgen.

Een boeiend vraagstuk, zeker in combinatie met de wet van behoud van wachttijd en de keuze van veiligheidsvoorraden. Maar dit gaat binnen het kader van dit boek te ver.

5. Berekenen van de veiligheidsvoorraad

Het doel van de veiligheidsvoorraad is om de beschikbaarheid van de goederen en betrouwbare levering te garanderen. Ze spelen een belangrijke rol bij het afstemmen van de supply chain.

Als er geen onzekerheid is, zijn er ook geen veiligheidsvoorraden nodig. Veiligheidsvoorraad is er om met onzekerheid in vraag en doorlooptijd toch te kunnen leveren. In de praktijk worden vaak

algemeenheden als ‘10% van de verwachte vraag’ gehanteerd. Dit is fout, want het houdt geen rekening met de kansverdelingen van vraag en doorlooptijd die in specifieke gevallen gelden.

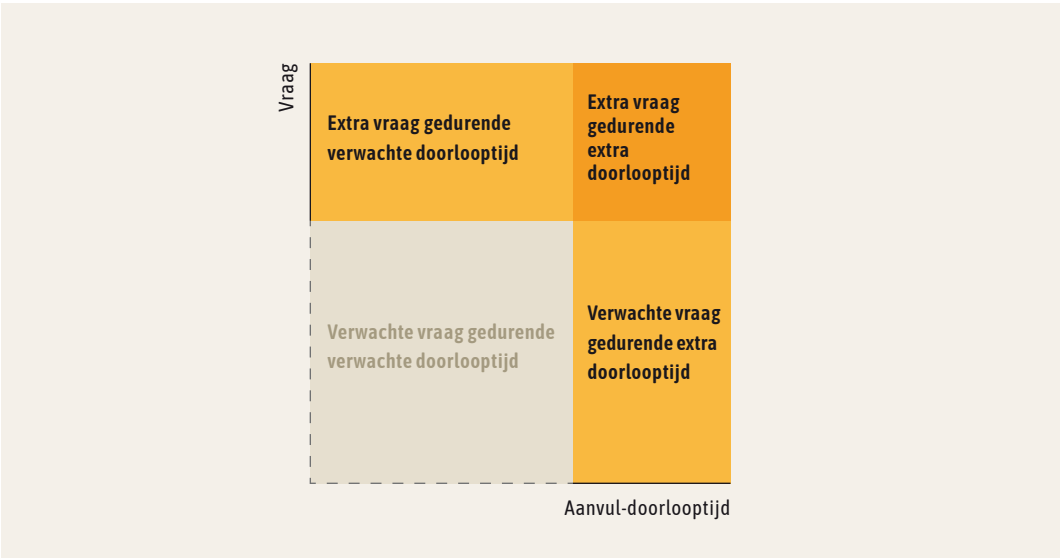
5.1 **Veiligheidsvoorraad tegen onzekerheid**

De beschikbaarheid van materialen wordt altijd geregeld door een verwachting van de vraag. Voor de verwachte normale goederenstroom ligt het verwachte verbruik gedurende de verwachte aanvuldoorlooptijd aan de basis. In een SIC- of Kanban-gestuurde voorraadaanvulling zit dat verwerkt in de formules voor bestelniveau.

Maar er is altijd onzekerheid, zowel in het vraagniveau als in de aanvuldoorlooptijd, beide hebben een kansverdeling met enige breedte. Veiligheidsvoorraad zorgt voor beschikbaarheid in de gevallen dat het vraagniveau boven de 50e percentiel (verwachte waarde) van de kansverdeling ligt, en de gevallen dat de aanvuldoorlooptijd langer is dan de verwachte waarde. Vaak wordt vrij arbitrair als doel gesteld dat er een 95% leverbetrouwbaarheid moet zijn, te interpreteren als ‘on time, in full’. Het verschil tussen de 50e en de 95e percentiel moet worden opgevuld uit veiligheidsvoorraad.

5.2 **Componenten van de veiligheidsvoorraad**

De berekening van de veiligheidsvoorraad heeft drie componenten: de extra vraag gedurende de verwachte doorlooptijd, de verwachte vraag gedurende extra doorlooptijd, en de extra vraag gedurende de extra doorlooptijd.



5.3 Berekening van de veiligheidsvoorraad

Door analyse van observaties in de praktijk moeten de kansverdelingen van vraag en doorlooptijd voor een specifiek geval worden vastgesteld. Kort door de bocht genomen kunnen alle componenten van de veiligheidsvoorraad bij elkaar opgeteld worden. Maar over de theoretisch exacte berekening (van met name de extra-extra) is een grote hoeveelheid details in de wetenschappelijke literatuur beschikbaar.

5.4 Seizoensinvloeden op de veiligheidsvoorraad

In de praktijk wordt doorgaans slechts één kansverdeling voor vraag en doorlooptijd gekwantificeerd, ook al zijn de feiten in het hoogseizoen totaal anders dan in het laagseizoen. De vraag is drastisch anders, en de tussentijden van aanvulling (bij een FTL-transportpolicy) zijn drastisch anders, en de kansverdelingen van de onzekerheden zijn drastisch anders.

5.5 Voorbeeld van een ijsjes-fabrikant

In de zomer is de vraag gemiddeld hoog omdat iedereen veel ijs eet. Veel hoger dan dat gemiddelde kan het niet worden, want genoeg is een keer genoeg. De veiligheidsvoorraad als fractie van de gemiddelde vraag kan in de zomer vrij laag gehouden worden. En dat is maar goed ook, want de vriezers bij de detaillisten liggen vol met de stroom die er dagelijks nodig is.

In het naseizoen en de winter daarentegen is de gemiddelde vraag laag. Maar iedereen wil een ijsje als plotseling het weer in een weekend extreem mooi is. Dat brengt de feestvreugde tot een nieuw niveau. De piekvraag kan dan wel 10 maal de normale wintervraag zijn. De veiligheidsvoorraad als fractie van de gemiddelde vraag moet extreem hoog zijn. Gelukkig kan dat ook wel, omdat de vriezers bij de detaillisten toch leeg zijn.

Daarenboven moeten we ook in overweging nemen dat de aanvulfrequentie (aanvuldoorlooptijd) in de zomer en in de winter drastisch anders is. In de zomer is er altijd wel een truck onderweg, maar in de winter moet aanvulling speciaal geregeld worden.

In de praktijk wordt niets van dit al in overweging genomen, en dat creëert een versterkend (bull-whip)effect in de supply chain. Bij de start van het hoogseizoen worden voorraden voor verwacht gebruik opgebouwd, maar worden ook veiligheidsvoorraden (die 10%) opgebouwd. De supply chain wordt overspoeld. Bij de neergang naar het laagseizoen worden alle voorraden afgebouwd en valt de supply chain helemaal stil.

6. Verband tussen efficiency, doorlooptijd en onderhanden werk

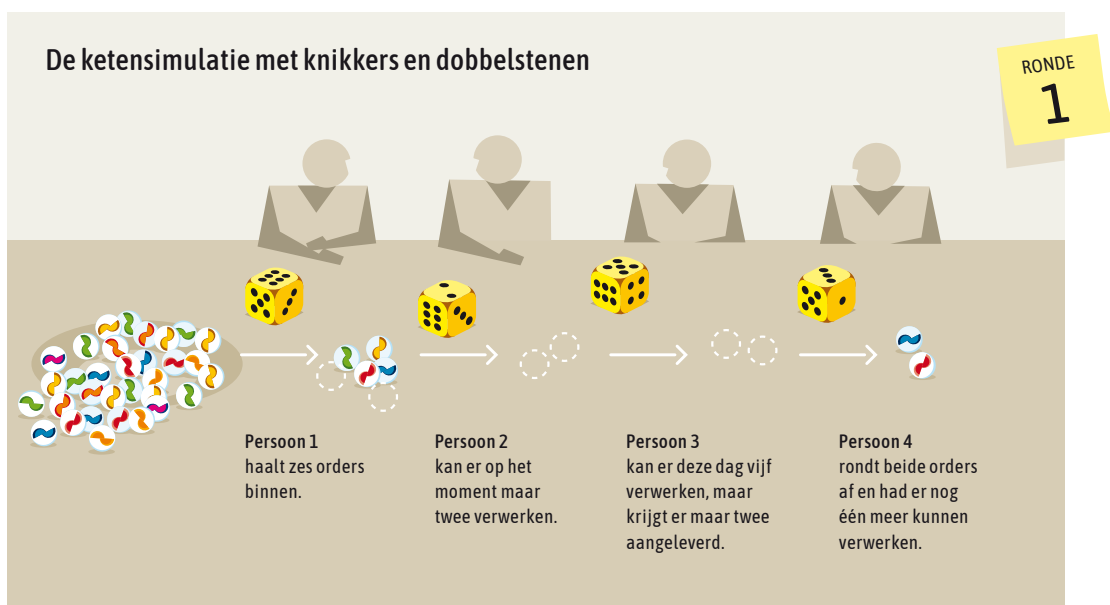
6.1 Een eenvoudig experiment dat je zelf kunt doen

Om het verband te zien tussen de hoeveelheid onderhanden werk (OHW), de doorlooptijden van de orders en de efficiency van het productieapparaat kan je zelf een eenvoudig spelletje spelen met een paar collega's.

Neem een lange tafel, een flinke verzameling knikkers en vier dobbelstenen (als je met z'n vieren speelt). Daarmee kun je een procesketen naspelen.

Degene die het dichtst bij de stapel knikkers zit begint. Hij of zij gooit de dobbelsteen en mag zo veel knikkers uit de eerste pot pakken en voor zich neer leggen als er ogen worden gegooid. De knikkers kun je zien als orders die door een productieproces stromen, de gooi met de dobbelsteen is een dag productie. Of in het geval van de eerste speler, de dagelijkse order-intake. De ene dag worden er zes orders binnen gehaald, de andere dag slechts één. Gemiddeld is het $3\frac{1}{2}$, als je tenminste eerlijke dobbelstenen gebruikt.

De knikkers die voor de eerste persoon liggen kun je zien als de wachtrij van werk voor het tweede station. Dan gooit de tweede persoon. Die mag zo veel knikkers bij de eerste persoon weghalen (uit de wachtrij pakken) als er ogen worden gegooid. Als er echter meer ogen worden gegooid dan er knikkers liggen, dan vervallen de extra ogen. Zie dit als leegloop wegens gebrek aan orders.

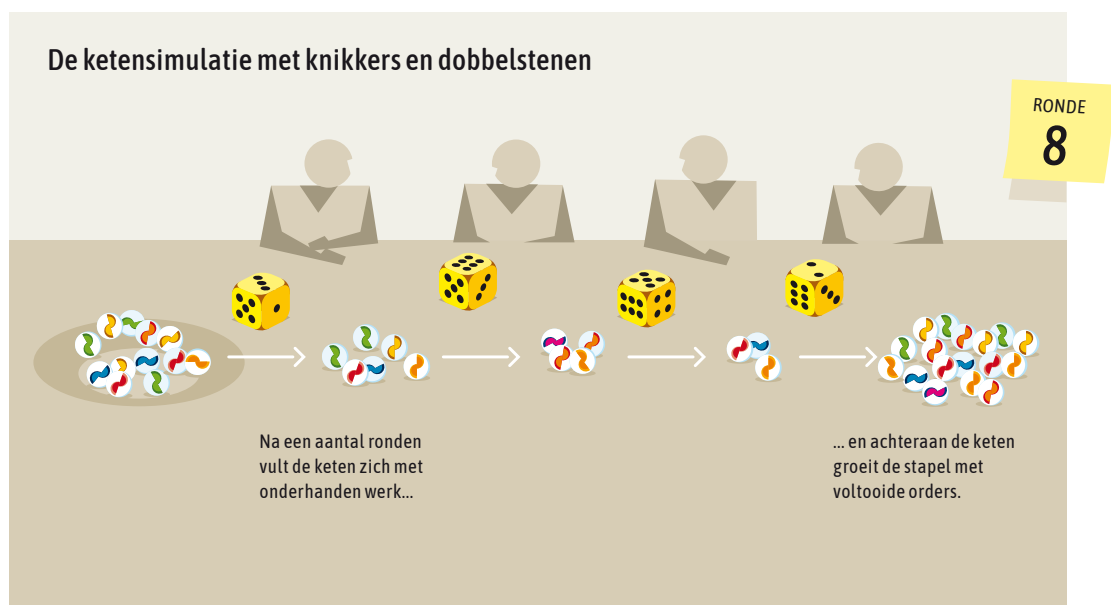


Daarna gooit de derde persoon. Die mag knikkers weghalen van persoon twee, enzovoort. Zo schuiven de knikkers langs de spelers over de tafel. Er ontstaat een procesketen met onderhanden werk-buffers. De voorraad knikkers die zich na verloop van tijd ophoopt voor de laatste persoon kun je zien als de totale opbrengst van het proces.

Je zult zien dat in het begin het proces wat stroef verloopt omdat er te weinig knikkers in de keten zitten, maar na verloop van tijd vult de keten zich.

We kunnen nu de toevoer van werk temperen door de eerste persoon steeds een knikker minder te laten pakken dan er wordt gegooid. We krijgen hiermee minder orders binnen dan we theoretisch aankunnen. De eerste persoon pakt hiermee gemiddeld $2\frac{1}{2}$ knikker per beurt uit de pot, terwijl de rest door gaat met gemiddeld $3\frac{1}{2}$ knikkers per beurt. We voeren dus werk toe aan de keten tegen 71% van de capaciteit (want $2\frac{1}{2} / 3\frac{1}{2} = 0,71$).

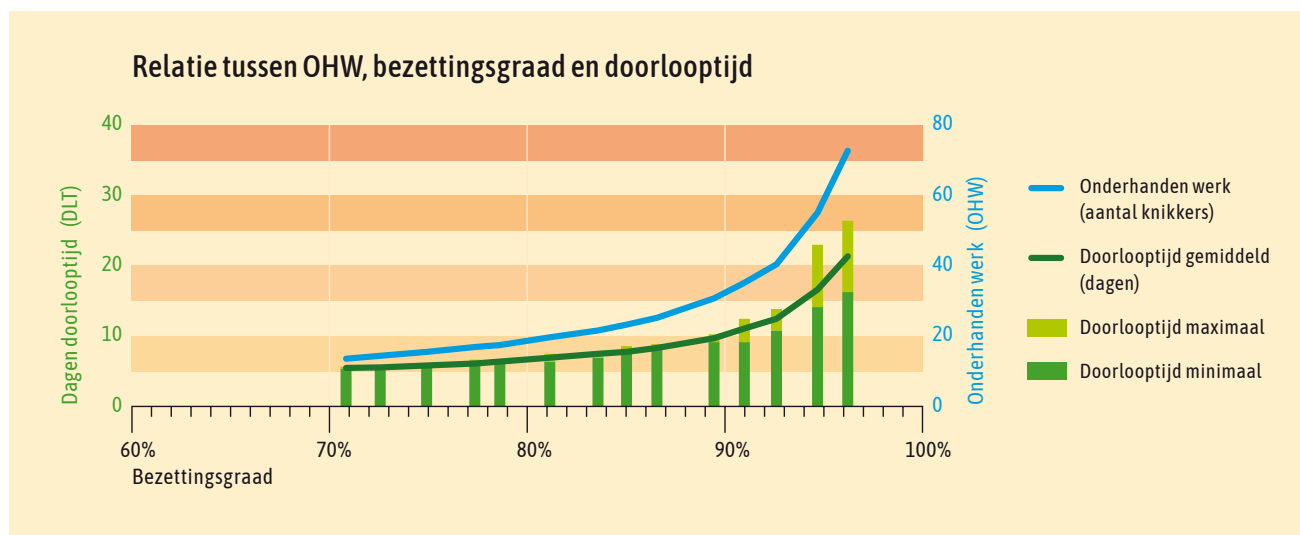
Het interessante is nu dat het OHW op langere termijn zich zo gedraagt dat er op de werkstations gemiddeld nergens meer dan 29% stilstand optreedt. ($29 = 100 - 71$). Dit lijkt op het eerste gezicht heel vanzelfsprekend, immers, er wordt ook maar voor 71% van de capaciteit werk aangeboden. Maar als je er langer over nadenkt is het eigenlijk heel fascinerend. In de dynamiek van het proces stelt het OHW zich kennelijk automatisch zo in dat er voor alle drie de werkstations zoveel gegooide ogen van de dobbelsteen verloren gaan dat je na verloop van tijd precies op 29% verlies uitkomt.



6.2 De relatie tussen efficiency en werk onderhanden

Na de inloop-periode blijkt dat er gemiddeld 13 tot 15 knikkers in de drie buffers bij de werkstations komen te liggen als de input op 71% wordt gezet. De bezettingsgraad moet daar op lange termijn dicht bij in de buurt komen. Dit kun je zelf verifiëren.

We kunnen nu door het eerste station meer of minder af te knippen een relatie vinden tussen de bezettingsgraad (of efficiency of belading) en het OHW. Als we bijvoorbeeld een nieuwe regel voor de eerste speler verzinnen waardoor de doorgang van het eerste station op 91% komt te liggen, blijkt dat de hoeveelheid onderhanden werk stijgt naar 35 knikkers in de drie schakels samen. Zo kunnen we een verband vinden tussen de hoeveelheid onderhanden werk en de bezettingsgraad. In de onderstaande grafiek is een voorbeeld opgenomen van de resultaten die zo'n simulatiespel kan opleveren. Let op, de grafiek heeft twee verticale assen: links is de doorlooptijd weergegeven (groen) en rechts het onderhanden werk (blauw). Op de horizontale as is de gemeten bezettingsgraad weergegeven.



Je kunt eenvoudig concluderen dat onderhanden werk een positieve invloed heeft op efficiency, maar een negatieve invloed op doorlooptijd en de variatie van de doorlooptijd. Hoe meer orders er in de onderhanden werk-wachtrijen staan, hoe langer het duurt voordat een nieuwe order door het systeem heen kan komen.

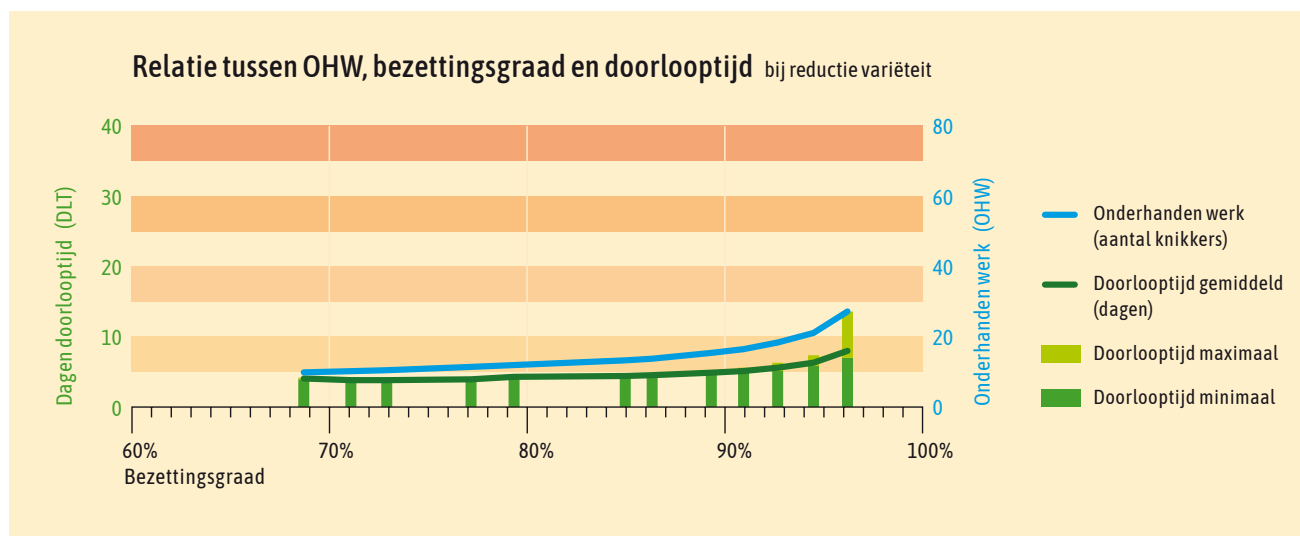
Interessanter is wellicht om andersom te redeneren en te concluderen dat een bepaald niveau van OHW noodzakelijk is om een productiesysteem met een gewenste efficiency te laten werken. Daarover later meer.

6.3 Invloed van de variëteit op de grafiek.

Als we willen weten wat de invloed is van variaties in werklast (dus: de ene dag heel veel werk, de volgende dag bijna niets) kunnen we in het hiervoor beschreven spel als volgt de regels aanpassen:

- Bij 1, 2 of 3 ogen verplaatsen we drie knikkers
- Bij 4, 5 of 6 ogen verplaatsen we vier knikkers

Dus in plaats van dat we een waarde trekken uit één tot en met zes hebben we nu alleen nog maar drie of vier. Deze verlaging van de variëteit geeft onmiddellijk een veel rustiger patroon. Het effect daarvan op de hoeveelheid OHW die nodig is om een bepaalde bezettingsgraad te halen is indrukwekkend. Er blijkt dat je bij dezelfde efficiency veel lagere niveaus van OHW nodig hebt en dus ook veel korte doorlooptijden kunt realiseren.



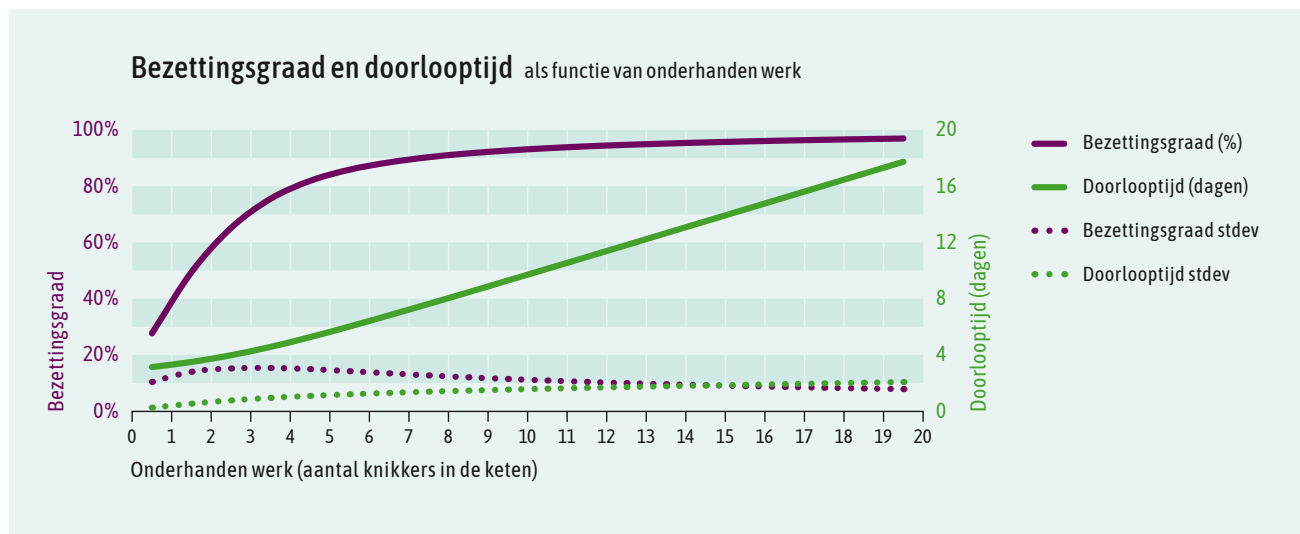
6.4 Het gebruik van OHW als stuurparameter

We kunnen weer een aanpassing doen aan ons knikkerspel door het toepassen van werklastbeheersing². Daarbij wordt de totale hoeveelheid knikkers in de keten constant gehouden bij ieder experiment. We voegen aan het begin van de keten precies evenveel knikkers toe als er aan het einde uit gaan. We starten met een bepaalde hoeveelheid knikkers in de keten (ieder experiment een ander aantal vanzelfsprekend). De laatste persoon mag als eerste gooien en de eerste persoon heeft geen eigen dobbelsteen meer maar neemt de waarde van de laatste over.

We krijgen dan de mogelijkheid om het verband tussen OHW en bezettingsgraad te zien, waarbij we het OHW als een stuurparameter zien.

² Zie ook Hoofdstuk 12, "Werklastbeheersing als methode voor voorspelbare doorlooptijden"

We kunnen nu nog duidelijker het effect zien van de hoogte van het OHW op de efficiency en de doorlooptijd. In de bovenstaande grafiek is dit weergegeven. De dikke paarse lijn is de efficiency of bezettingsgraad van de productie. Die is sterk gekromd met een asymptoot tegen de 100% bezetting. Bij een lage hoeveelheid OHW daalt de efficiency tot ver onder de 60%. Pas bij een minimum van acht of negen knikkers OHW wordt een bezettingsgraad van 90% of meer bereikt. Om 100% efficiency te bereiken is extreem veel OHW nodig.



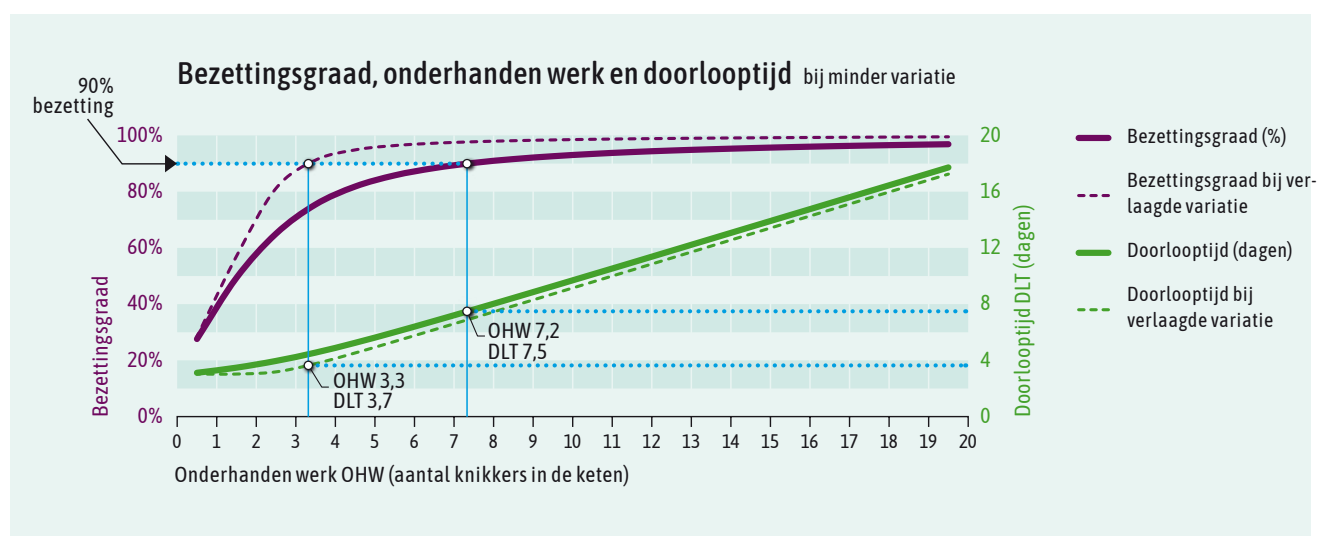
De dikke groene lijn is de doorlooptijd. Die loopt vanaf een bepaald niveau van OHW lineair op met het OHW. Dat is ook logisch. De doorlooptijd van een bepaalde knikker door het proces wordt hoofdzakelijk bepaald door de knikkers die voor hem in de wachtrijen liggen. Hoe meer dat er zijn, hoe langer hij moet wachten voordat hij zelf aan de beurt is.

Als de efficiency (vrijwel) constant is, is alleen het OHW bepalend. Bij lage OHW-waarden onder de zes knikkers loopt de doorlooptijd niet meer evenredig met het OHW. Dat komt omdat daar de efficiency laag is, waardoor de doorvoer vertraagt.

De twee dunne lijnen geven de standaarddeviatie aan van de doorlooptijd en de efficiency. Die blijven relatief laag in deze eenvoudige lijnsopstelling waarbij knikkers (werkorders) elkaar niet in mogen halen.

We kunnen ook in deze situatie van beheerste werklast weer de variëteit verlagen door weer over te schakelen van 1...6 naar 3 of 4. We zien dan hetzelfde effect op efficiency en doorlooptijd. In onderstaande grafiek is weergegeven dat je in een dynamische situatie bij een OHW situatie van 8 knikkers een bezetting van 90% en een gemiddelde doorlooptijd van 7,5 dagen haalde. Bij een

verlaging van de variëteit kan de OHW verlaagd worden naar vier knikkers waarbij een doorlooptijd van gemiddeld 3,7 dagen kan worden gehaald bij dezelfde efficiency.



7. Uitbreiding van het experiment: kriskrasroutes en wachtrijregels

Uit het experiment dat in de vorige paragraaf is beschreven kun je concluderen dat er een sterke relatie is tussen bezettingsgraad en OHW. Bij toename van het OHW nemen de bezettingsgraad en de efficiency toe via een kromme. De kromme loopt uiteindelijk horizontaal tegen de 100% bezettingsgraad aan.

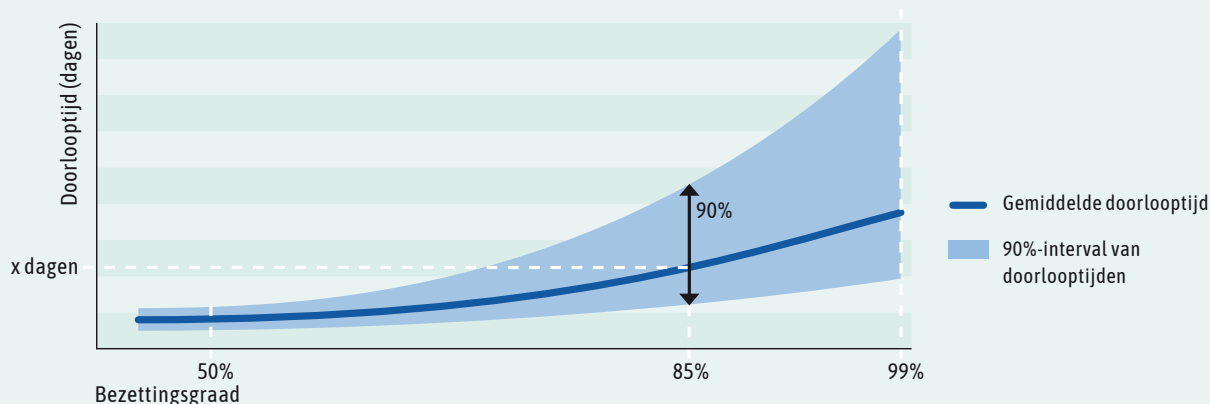
Deze regels gelden voor een eenvoudige keten van vier schakels in lijn, maar ze gelden ook in veel complexere situaties, met veel meer werkstations en allerlei verschillende kriskras-routingen.

Interessant is om te kijken naar de betrouwbaarheid van de voorspelde doorlooptijd. We nemen daarvoor de variatie in de doorlooptijd als maat. Die blijkt sterk afhankelijk van de voorrangregels die we hanteren in wachtrijen. In een lijn-situatie waarbij alle orders dezelfde routing hebben en op dezelfde manier een leverdatum krijgen toegewezen, maakt deze regel geen verschil. De orders lopen allemaal keurig achter elkaar aan.

Maar in een complexe situatie met allerlei kriskras-routingen door elkaar kunnen orders elkaar gaan inhalen. Dan is het van belang welke beslisregel er wordt gehanteerd per werkstation. De spreiding in de doorlooptijd kan enorm oplopen als de verkeerde beslissingen worden genomen

Verband tussen doorlooptijd en bezettingsgraad

in een situatie waarbij orders allerlei routes volgen langs verschillende werkplekken



over de volgorde in de wachtrij. De mate van spreiding in de doorlooptijd is belangrijk als het gaat om voorspelbaarheid van het proces.

Er zijn veel verschillende beslisregels voor wachtrijen. In de tabel worden er een aantal genoemd. De eenvoudigste regel is First-in First-out. Wie het eerst in de wachtrij staat, is het eerste aan de beurt. Die geeft een grote spreiding in doorlooptijd bij complexe routingstructuren. Een veel betere regel is de regel van een critical ratio. Dat is de verhouding tussen de resterende tijd tot de beloofde leverdatum en de resterende bewerkingstijd. Orders die dicht op hun leverdatum zitten zullen voorrang krijgen. Men kijkt niet naar plandata van processtappen, maar naar leverdatum van de gehele order. Dit is de beste optie voor een systeem met redelijk gebalanceerde capaciteiten en een grote volatiliteit van de vraag en meer dan incidentele spoedorders. De spreiding in de doorlooptijd blijkt daarbij het laagste.

Die regel zorgt ervoor dat orders zoveel mogelijk op tijd klaar zijn, omdat ze voorrang krijgen als ze achterlopen. Een van de mooie bijkomstigheden is dat je door toepassing van de regel van critical ratio ook geen speciale planning meer hoeft te maken voor spoedorders. Ze krijgen alleen een leverdatum die niet ver in de toekomst ligt en gaan dan vanzelf heel snel het systeem door omdat critical ratio ze hoge prioriteit geeft en ze steeds vooraan in wachtrijen zet. Tot ze in de normale stroom passen.

Daarbij zullen ze overigens veel andere orders naar achteren duwen, dus het is wel zaak bij het afgeven van leverdata de totale werklast per week goed in de gaten te houden. Het is mogelijk dat door het voordringen van één spoedorder honderd andere orders te laat komen.

Vorrangsregels in wachtrijen

Regel		Effect
FIFO <i>First In, First Out</i>	Wie het eerst komt, wie het eerst maalt. De meest voor de hand liggende en meest voorkomende regel. Deze regel staat voor gelijkwaardigheid in wachtrijsystemen waar klanten fysiek aanwezig zijn en waar het psychologisch moeilijk is om ervan af te wijken in wachtrijen.	Levert geen verbetering op voor de systeemprestaties. Is niet slim in productiesituaties waarin orders geen gevoel hebben.
SPT <i>Shortest Processing Time</i>	Kortste bewerkingstijd krijgt voorrang. Daardoor gaan kleine opdrachten sneller door het systeem. De SPT-regel moet met zorg worden gehanteerd. Grote bestellingen kunnen veel vertraging oplopen.	Is populair omdat de gemiddelde wachttijd per order laag wordt. Grote orders kunnen echter in de problemen raken.
WINQ <i>Work in Next Queue</i>	Kies de order die in de volgende bewerking de kortste wachtrij heeft. Het idee is dat het geen nut heeft om orders naar een plaats te sturen waar ze toch in een wachtrij belanden, maar de redenering klopt niet. Een bottleneck mag niet stilvallen en moet dus een lange wachtrij hebben. Niet-bottlenecks hebben weinig wachtrij maar moeten onherroepelijk zo nu en dan stilvallen.	Levert geen efficiëntievoordeel op.
CR <i>Critical Ratio</i>	Kies de order met de laagste verhouding tussen resterende doorlooptijd en bewerkingstijd. Orders die dicht op hun <i>due date</i> zitten zullen voorrang krijgen. Men kijkt niet naar <i>due dates</i> van processtappen, maar naar <i>due date</i> van de gehele order.	De beste optie voor een systeem met redelijk gebalanceerde capaciteiten en een grote volatiliteit van de vraag en meer dan incidentele spoedorders.

8. De essentiële rol van buffers en onderhanden werk (OHW)

8.1 Harde koppelingen leiden tot verlies van winst en opstapeling van verlies.

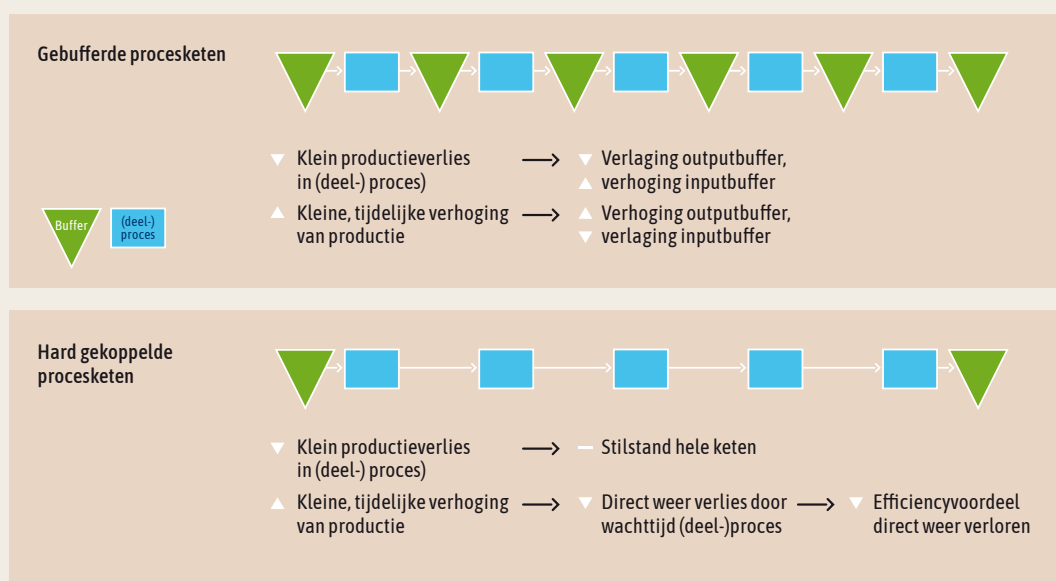
De bovenstaande titel moet je even twee keer lezen. Wat we er mee bedoelen is het volgende. Een keten van processen of deelprocessen zonder tussenbuffers noemen we een hard-gekoppelde keten. In zo’n keten zal een kortstondige stilstand in een van de schakels direct tot stilstand leiden van alle andere schakels (zowel voor als achter). Het verlies zal ook niet meer ingehaald kunnen worden binnen de normale werktijd. En als er iets positiefs gebeurt in een van de schakels, bijvoorbeeld een taak is sneller klaar dan normaal, dan zal deze winst verloren gaan omdat de betreffende schakel vervolgens even stil moet vallen omdat ze op de volgend stap moet wachten om het product door te schuiven (er zijn geen buffers). Kortom: verlies is blijvend en winst valt weg.

Als er echter wel buffers zijn, tikt een kortstondige stilstand of productieverlaging van een schakel niet meteen door in alle andere ketens. En een kleine winst zal leiden tot een verhoging van de buffer na het deelproces en deze winst kan weer geconsumeerd worden bij een korte tegenvaller

die wellicht even later optreedt. Of anders gezegd: harde koppeling van schakels in een keten leidt tot verlies van meevallers en cumulatie van tegenvallers.

Denk ook aan de wet van behoud van wachttijd. Als twee (deel-)processen niet perfect op elkaar aansluiten, zal er altijd iets moeten wachten: materiaal, capaciteit of klant. Als er geen buffers zijn, kan materiaal nooit wachten dus is het altijd de klant of de capaciteit. Er zijn maar weinig situaties waarbij dit echt gewenst is.

Harde koppeling leidt tot verlies van winst en opstapeling van verlies



8.2 Tegenstrijdig aan 'Lean'

De populaire Japanse Lean-filosofie streeft naar optimalisatie van productieprocessen door het verwijderen van alle 'Muda' (waste, verlies). Er zijn liefst zeven vormen van Muda, waarvan er vier over voorraden gaan. In sommige gevallen veroorzaken aanhangers van deze filosofie een ware kruistocht tegen alles wat 'voorraad' is in een productiesysteem. Deze voorraad betreft vooral het werk dat onderhanden is, wachtend op een volgende bewerkingsstap in het fabricageproces. Via zogenoemde 'value stream maps' wordt in kaart gebracht hoeveel tijd een order door het productieproces loopt en worden wachttijden van materialen in onderhanden werk in beeld gebracht.

De Lean-benadering vindt de tijd die materiaal wachtend doorbrengt een pure verspilling. Veel Lean-verbeterprojecten gaan dan ook over het verkorten van de doorlooptijd, en dat staat gelijk aan het verwijderen van onderhanden werk.

Maar onderhanden werk in een wachtrij voor een productiemiddel vervult een belangrijke positieve rol. Het ontkoppelt het productiemiddel van de voorgaande en opvolgende bewerkingen en stelt het productiemiddel daardoor in staat efficiënt te werken.

Bij elke bewerking in het proces kan sprake zijn van enige variatie in de bewerkingstijd van een order. Een harde koppeling tussen bewerkingen veroorzaakt dat een werkstation niet kan beginnen vóórdat het vorige werkstation gereed is. Het werkstation staat dan te wachten wegens gebrek aan werk en is minder productief. Een harde koppeling met de navolgende bewerking veroorzaakt dat een werkstation ook staat te wachten tot het *volgende* werkstation klaar is met zijn bewerking (aan de vorige order).

Een harde koppeling veroorzaakt een domino-effect voor elke vertraging. Maar nog erger is dat een vertraging niet kan worden ingelopen omdat door de harde koppeling geen enkel werkstation sneller kan werken dan zijn omliggende werkstations dicteren. De pech van langere bewerkingstijd telt in de keten op, het geluk van kortere bewerkingstijd kan niet verzilverd worden. Dat leidt tot verlies van efficiency. Ons devies is dus: echte Muda's aanpakken is prima, maar overdrijf niet en waak voor harde koppelingen.

9. Optimaliseren van de procesketen

9.1 Verlagen van de beladingsgraad is duur en heeft maar beperkt effect

Het zal duidelijk zijn dat bij een hogere beladingsgraad, dus een hogere vereiste efficiency, er een grotere kans is dat de instromende werkhoeveelheid tijdelijk hoger is dan de beschikbare capaciteit. Dit doet het onderhanden werk groeien. Files ontstaan als het druk is. En het zal ook duidelijk zijn dat het wegwerken van achterstanden langer duurt naarmate de beladingsgraad gemiddeld al hoger is. Het onderhanden werk slinkt traag. Files doen er lang over om op te lossen als het steeds druk blijft.

De beladingsgraad kan verlaagd worden door de capaciteit te verhogen en/of minder werk te laten instromen. De capaciteit verhogen met opgeleid, getraind en ervaren personeel (gedenk de vereiste kwaliteit) op hoogwaardige productiemiddelen kan doorgaans alleen door structureel extra mensen met een vast contract in te huren en extra productiemiddelen te kopen. Deze extra's verlagen de efficiency en brengen hoge kosten met zich mee. Er zijn natuurlijk ook flexibele oplossingen voor capaciteitsuitbreiding, zoals overwerk, inlenen en uitbesteden.

Als je een hoge efficiency wilt halen kun je niet met minder OHW. Dan wordt het vaak een rommeltje. Veel verlies van tijd omdat mensen zitten te wachten op het vorige station, en aan het eind van de dag toch ineens veel noodzaak tot overwerk.

9.2 De kwalijke invloed van olifantsorders

Een verschijnsel dat dit effect versterkt is de zogenaamde olifantsorder. Een order die buitensporig groot is en die voor opstoppen in het proces zorgt. Vaak wordt zo'n olifantsorder door de onderneming zelf veroorzaakt. Bijvoorbeeld omdat een aantal kleine orders worden samengevoegd tot een grote om omsteltijden te besparen. Zo'n besluit beoogt de verbetering van de efficiency maar werkt vaak alleen maar averechts door de klonten in het proces. Alleen op een echte bottleneck heeft zo'n beslissing zin.

Olifantorders kunnen ook worden veroorzaakt door de bonus- of kortingstelsels. Een mooi voorbeeld van een bonus/kortingstructuur die misalignment in de hand werkt is de snoepjesfabriek, waarbij een grote buitenlandse klant slechts één maal per jaar een hele grote order plaatste om een kwantumkorting te krijgen. De inkoper van die klant werd daarop beoordeeld. De jaarlijkse order veroorzaakte iedere keer grote problemen in de productie. Bij navraag bleek dat de betreffende klant ook problemen had met de enorme hoeveelheid geleverde goederen en knelpunten in zijn opslagmagazijn. Dus zowel klant als leverancier bleken dus last te hebben van zo'n olifantsorder, die ze zelf kunstmatig hadden gecreëerd via het kortingsstelsel.

9.3 Verlagen van de variabiliteit in de werkstroom levert veel op

Een goede oplossing voor het verlagen van benodigd onderhanden werk is het verlagen van de capaciteitsbehoeftevariabiliteit in de werkstroom. Dat kan extern geregeld worden door een levertijd af te geven die afhankelijk is van de drukte in het productiesysteem. Iedereen begrijpt dat het wat langer duurt als het druk is, sommigen accepteren dat ook nog. Verkoop kan ook sturen op het verwerven van orders die nog passen in de werkelijkheid van het capaciteitsplaatje.

Maar veel minder ingrijpend zijn interne maatregelen, waarvan sommige tegen-intuïtief. Een werkstroom loopt het soepelst als alle orders ongeveer evenveel werk vergen. Een kassa-rij bij de supermarkt illustreert dat: één afgevolde kar laat vele kleine klanten onredelijk lang wachten. Dit betekent dat de neiging moet worden weerstaan om overal zogenaamd soortgelijke orders samen te nemen en zo de insteltijd te besparen.

9.4 Verhogen van het reactievermogen: flexibele inzet personeel en middelen

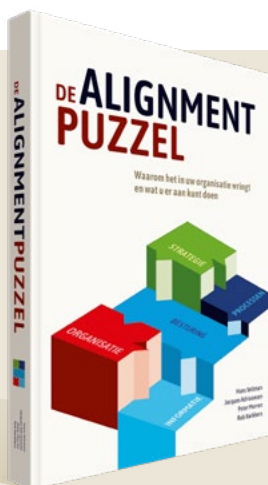
Het complement van het verlagen van de variabiliteit van de instroom is het verhogen van het reactievermogen op variabiliteit. Je hebt alleen ergens last van als je er niet goed mee om kan gaan.

Reactievermogen kan het beste verhoogd worden door flexibele inzet van beschikbaar personeel en beschikbare productiemiddelen. We hebben het tenslotte over werk dat opleiding, training en ervaring vergt om de vereiste kwaliteit te garanderen. Multi-inzetbaarheid is het toverwoord.

Personeelsontwikkelingsbeleid moet erop gericht zijn dat medewerkers op verschillende werkstations kunnen inspringen, al naar gelang de capaciteitsbehoefte van het eigen werk en het uit de brand te helpen workstation. Voor efficiënte inzet van productiemiddelen is het verstandig ze zó universeel te kiezen dat ze ook voor andere werkzaamheden kunnen worden ingezet.

Er zijn natuurlijk ook kosten verbonden aan het cross-trainen van vast en loyaal personeel, er zijn enige extra omstellingen en commercieel zijn drukte-afhankelijke levertijden wellicht schadelijk, dus een zorgvuldige trade-off is nodig voor besluitvorming.

Tenslotte nog een opmerking over de inzet van de verbeteringen voor het beste effect. Tot nu toe hebben we het erover gehad dat door verbeteringen OHW verlaagd en doorlooptijd verkort kunnen worden. Maar er kan ook voor gekozen worden de OHW en doorlooptijd te handhaven en de efficiency/belaadbaarheid van het productiesysteem te verhogen tot wel 98% van de beschikbare capaciteit en zo de drukte het hoofd te bieden.



Meer verfrissende inzichten en technieken:

Lees *De Alignmentpuzzel*, het nieuwe standaardwerk over alignment in organisaties

www.alignmentpuzzel.nl