

# **Productie en Logistiek Management**

## **Praktisch**

Organisatie:

- Lessen: criterium voor inhoud examen
- Zelfstudie

Lesmateriaal

- Boek: Productie- en Logistiek Management, Marc Lambrecht, Robert Boute, Nico Vandaele, Druk 2 (volledig herziene editie 2016), Uitgeverij Alta
- Toledo: slides, aankondigingen,...

Evaluatie

- Schriftelijk examen
- Eigenhandig geschreven formularium
- Inzicht, toepassen, voorbeelden

Niet behandeld in de les = geen leerstof.

Op het einde van elk hoofdstuk opgeloste oefeningen in handboek: vroegere examenvragen = zelfstudie.

Examen:

Eigen geschreven formularium kan je alles op schrijven: 1 A4 aan beide zijden – mag je meenemen naar het examen. Moet je afgeven na het examen met je naam erop. Mag je ook komen terug halen.

Elementen die je moet verklaren, elementen toepassen zoals in de les.

Voorbeelden geven.

## **Overzicht**

- Inleidende beschouwingen over productie- en logistiek management: niet geheel doorgenomen in de les, van leesmateriaal, rest komt later terug in het boek.
- Voorraadbeheer: vooral over producten, maar kan ook voor diensten
- Materiaalbehoefteplanning: zorgen dat alles er is zodat dienst/product geleverd kan worden, reserveren/leveren/on time
- Gedetailleerde productieplanning tegen eindige capaciteit: je hebt een limiet. De materiaalbehoefteplanning is blind en veronderstelt een oneindige capaciteit.
- Doorlooptijd als prestatie maatstaf en kernbegrip in het planningsgebeuren: op tijd leveren, file is een capaciteit die verzadigd geraakt, file = batching om te filteren.
- Lean operations

## **Deel I: Voorraadbeheer**

### **1. Inleiding**

Just-in-case vs. Just-in-time: just in time is dat je enkel zorgt dat je je voorraad hebt als je het nodig hebt. Dit is enkel bij gestroomlijnde zaken. Minste hapering

zal dit niet voldoen.

Bij een klassieke voorraad ga je met een safety stock, een service, werken.

Oorzaken aanpakken bv niet kunnen leveren, langer opweg zijn.

Belangrijke balanspost: er zitten veel centen in. De waarde aan stock die bv een apotheek liggen heeft, is gigantisch. Als je er verstandig mee omgaan, kan je je cashflow beter beheren.

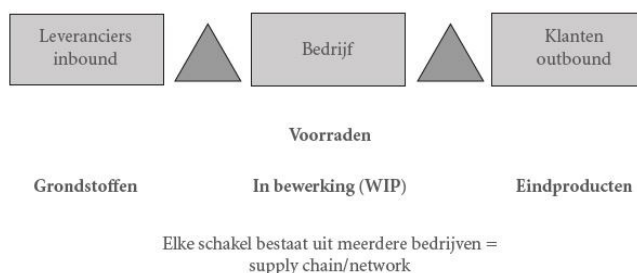
Definitie: Goederen die men in bewaring houdt voor later gebruik. Dingen die je even bij houdt om later te gebruiken. Te veel of te weinig is niet optimaal.

Vier soorten:

- Hulpstoffen: elementen die je vaak niet dadelijk terug vindt in het product of service zelf bv onderhoudsproducten van machines etc.
- Grondstoffen
- Goederen in bewerking
- Afgewerkte producten

## Belang van voorraadvorming

Totale logistieke keten:



Figuur 1: De logistieke keten

Logistieke keten: het is een netwerk.

Vorming van voorraad: 3 redenen van voorraadhouding

- Tijd- en ritmeverschillen: ander ritme waar je aan moet voldoen
- Onzekerheid: je weet niet hoeveel en wanneer je het nodig hebt, er is ook onzekerheid van de aanvoer, deze onzekerheid kan je niet oneindig uitstellen, er moet een compromis gesteld worden voor het service level.
- Economisch motief: meer vraag bij zakken van de prijzen.

## Componenten van een voorraadstelsel

Vraagstructuur: vraag van de klant

- Onafhankelijk (ze kunnen wel voorspellingen doen maar deze komt eigenlijk uit de lucht vallen) vs. afhankelijke vraag (een stuk is gegeven en de rest kan je berekenen bv de hoeveelheid voorraad je nodig hebt voor een bepaald aantal dat je weet wat zal worden verkocht)
- Constant (bv elke dag drink je een glas melk) of variable (elementen verschillen per dag bv een dag meer melk dan de ander)
  - o Deterministisch (waarde die je met zekerheid kent, maar die op en neer kan gaan bv 2 glazen in het weekend en 1 in de week) vs. Stochastisch (laten afhangen van een kansverdeling, weet je niet op voorhand)

Aanbodstructuur; aankoop en aanmaak

- Leveranciers
- Eigen productieproces

### **Optimale voorraadhoogte**

Bestel- en omstelkosten: leveren aan huis is niet gratis, eenmalige kosten

- Cyclusvoorraad
- De omstelkost van een machine is ook een eenmalige kost

Tekortkosten: de kost als je niet kan leveren, zeer lastig uit te drukken in geld, vaak imagokosten

- Veiligheidsvoorraad: als je hierop wilt besparen, zal er ook een grotere kans zijn op tekortkosten

Prijskortingen: kortingen als je bijvoorbeeld grotere aantallen aankoopt

- Speculatieve voorraad

Seizoensschommelingen: niet lente-winter-zomer-herst, maar tijdsafhankelijk patroon bv in het weekend drukker dan in de week in de horeca. Ook industriële seizoensschommelingen bv in de landbouw op basis van het gene dat binnen komt.

- Chase production: seizoenspatroon perfect achterna lopen bv studenten opbellen als het drukker zou zijn. Echt vraag te proberen nalopen zonder voorraden te leggen van de capaciteit, vraag volgen met zo weinig mogelijk stock.
- Level production: andersom, is de vraag zwak, heb je hogere inventarissen
- Seizoensvoorraad

### **Meten van voorraad (lezen)**

Statische maatstaven

- Totale voorraad / balanstotaal
- Jaaromzet aan kostprijs / gemiddelde voorraad aan kostprijs
- Totale voorraad / toegevoegde waarde

Dynamische maatstaven: elementen variëren in functie van de tijd

- In functie van de tijd

### **Meten van voorraad: Cumulatieve input/outputgrafiek (lezen)**

Omzet per jaar (kostprijs): \$3650

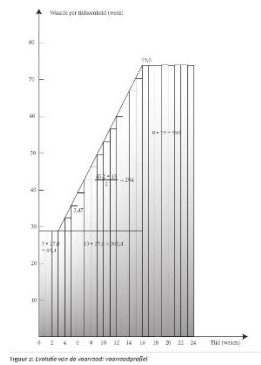
Weekproductie: \$73 waarvan

- \$27.8 voor materiaal en grondstoffen  
Voorraadperiode 3 weken
- \$45.2 voor lonen en machinekosten

50 weken per jaar gewerkt

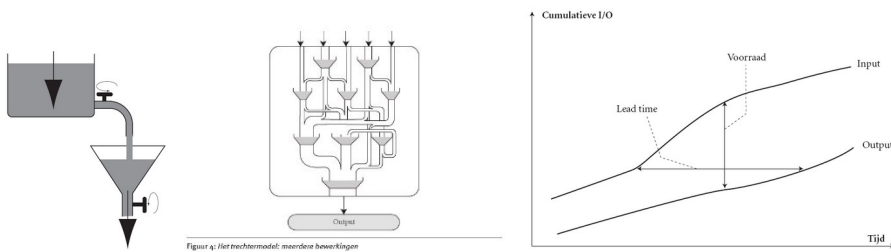
Assemblage duurt 13 weken

Voorraadperiode voor eindproducten: 8 weken



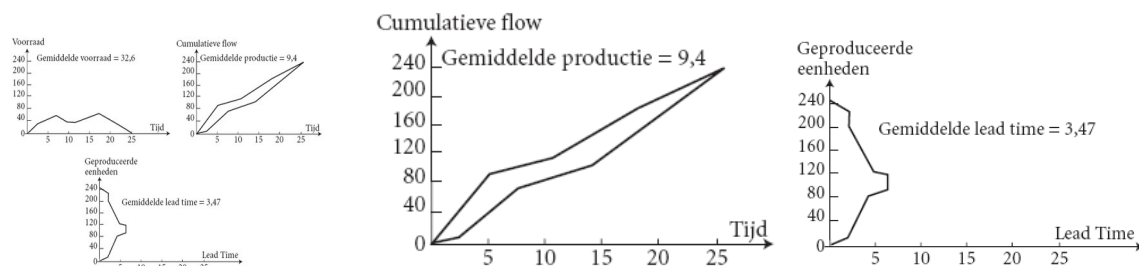
Voorraadrotatie =  $3650/1323 = 2.76$

## Meten van voorraad: Trechtermodel



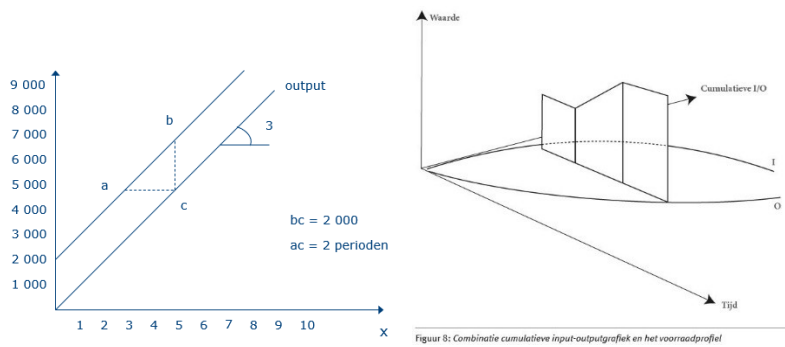
Alle logistieke elementen zijn flows. Alles wat stroomt volgt ook zo een patroon. Hier komen we later op terug.

## Overgeslagen:



## Tweede voorbeeld

- Output  $y = 1000x$  (met  $x$  de tijd,  $y$  de hoeveelheid)
- Input  $y = 2000 + 1000x$
- Gemiddelde voorraad: 2000
- Gemiddelde lead time: 2 perioden
- Gemiddelde output: 1000 per periode



**Tot hier**

### **Meten van voorraad: ABC-analyse**

Je hebt enorm veel producten en je kan niet elk product op dezelfde manier nauwkeurig gaan opvolgen. Je kan dit gaan classificeren in groepen via ABC. Het moet zeker niet altijd in 3 categoriën zijn, afhankelijk van je criteria. De techniek noemt ABC maar moeten er geen 3 zijn bv standaard of niet standaard.

A-producten

- 15% - 20% van de producten
- 75% - 80% van de voorraadwaarde

B-producten

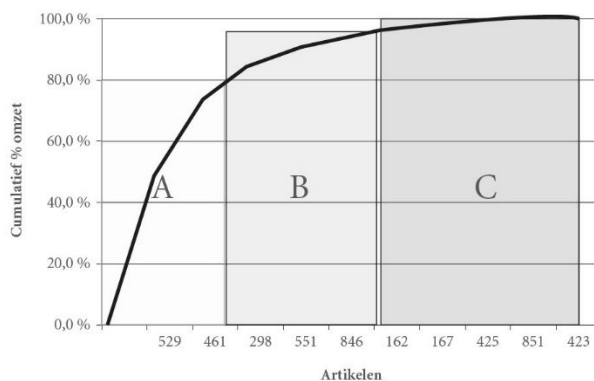
- 30% - 40% van de producten
- 15% van de voorraadwaarde

C-producten: meer dan de helft is vaak zelfs niet 5% - 10% van de waarde van je voorraad

- 40% - 50% van de producten
- 5% - 10% van de voorraadwaarde

Artikel	Omzet jaar x	% totale omzet	Cumulatieve omzet	Cumulatieve % omzet
529	18 936	49,1 %	18 936	49,1 %
461	9 322	24,2 %	28 258	73,3 %
298	4 353	11,3 %	32 611	84,6 %
551	2 210	5,7 %	34 821	90,4 %
846	1 488	3,9 %	36 309	94,2 %
162	994	2,6 %	37 303	96,8 %
167	646	1,7 %	37 949	98,5 %
425	369	1,0 %	38 318	99,4 %
851	133	0,3 %	38 451	99,8 %
423	89	0,2 %	38 540	100,0 %
	38 540	100 %		

Opdeling gemaakt op omzet per jaar in geld. Kan ook op basis van andere



criteria.

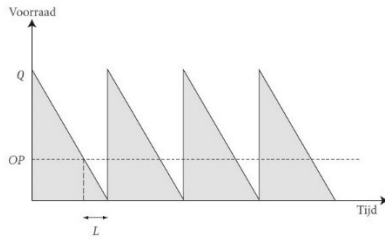
## 2. Deterministische modellen

### 2.1 Optimale bestelhoeveelheid: het EOQ-model: economic order quantity

De assumpties zijn niet realistisch, maar dit is het eenvoudige model, ookal niet realistisch. Dit is dus de eerste stap naar de ingewikkeldere modellen. Toch gebruiken heel veel organisaties dit model. Het model is robuust, ookal maak je fouten in de parameters, zal het toch een goede benadering zijn. Wat is de meest goede hoeveelheid die je moet bestellen?

- Vraag (D) is constant en met zekerheid gekend bv elke dag 2 pintjes per dag, zelfs niet op en neer gaande, elke dag constant zonder onzekerheid.
- Overbruggingstijd (L) is constant en onafhankelijk van de vraag. De L wordt in de meeste softwarepakketten zo gebruikt. Deze tijd is ook constant, zelfde tijdsvenster. In realiteit is deze wel afhankelijk van de vraag, maar in dit model is dit niet het geval.
- Tekorten mogen niet voorkomen: niet het geval in stochastisch.
- Voorraad wordt onmiddellijk bijgevuld wanneer de goederen binnenkomen: geen processing, geen uitpakken, geen wegen, etc.
- Alle kosten zijn vast en gekend
- Geen rekening houden met risico en onzekerheid

## Single productgeval: zaagtandmodel



Figuur 11: De voorraadevolutie over tijd; het klassieke zaagtandmodel

De stock wordt terug bijgevuld onmiddellijk op 0. Deze worden aan een constant ritme geconsumeerd. De Q moeten we zoeken: hoeveel flesjes moet je gaan halen zodat de totale kost zo laag mogelijk is. Als je 2x zo veel besteld, moet je 2x zo weinig naar de winkel gaan, dus je bespaard op de levering, maar je moet hierbij dan wel stockage kosten etc betalen. Er moet een afweging zijn. Je moet L tijdseenheden op voorhand gaan bestellen: het order point (OP).

### Single productgeval: notatie

- L = Overbruggingstijd
- OP = Bestelpunt
- D = jaarlijkse vraag in eenheden
- Q = Bestelgrootte in eenheden
- Q\* = Optimale bestelgrootte met minimale totale kosten
- C<sub>o</sub> = bestelkosten (ordering costs)

### Single productgeval: notatie

C<sub>h</sub> = voorraadkosten per eenheid per periode, holding costs, een percent van de waarde van het product, kan ook procentueel

C<sub>h</sub> = i . C<sub>p</sub> waarbij

i = percentage, deze is voor ons gegeven, maar in realiteit niet zo simpel. In veel organisaties is dit best wel hoog (30-40%), hier zitten ook de kosten bij van het gebouw, personeel, etc. Bv je hebt iets van 100 euro wat je in stock houdt, na een jaar is de helft van de waarde van het product uitgehouden aan de stock van dit product.

C<sub>p</sub> = aankoopprijs per eenheid

C<sub>h</sub> = 'holding cost'

→ TC = totale kosten per jaar van de bestelpolitiek

### Totale kosten minimaliseren

TC = aankoopkosten + bestelkosten + voorraadkosten

$$TC = \boxed{D \cdot C_p} + \boxed{(D/Q) \cdot C_o} + \boxed{(Q/2) \cdot C_h}$$

Alles moet uitgedrukt worden in een geheel jaar.

De bestelkosten is de vraag over een geheel jaar, gedeeld door het aantal keer dan je naar de winkel moet, maal de kost van ee keer naar de winkel te gaan.

De voorraadkosten zijn de gemiddelde voorraad kosten over een heel jaar, de driehoek in de voorgaande figuur.

$$dTC/dQ = -(D/Q^2) \cdot C_o + 1/2 \cdot C_h = 0$$

$$EOQ = Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h}} \rightarrow \text{vierkantswortel formule, formule van Camp}$$

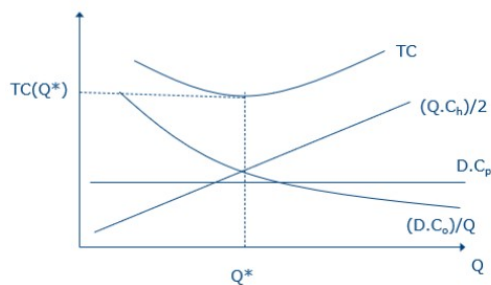
Eens nadenken wat er met Q\* gebeurt als de kosten constant blijven maar de

vraag toeneemt (dan neet  $Q^*$  toe) of bv als de kosten  $C_b$  toeneemt, zal  $Q^*$  dalen want het kost te veel om de voorraad aan te houden, etc. Zo eens proberen na te denken over alle formules.

## Inzichten

- Hoe groter de aankoopprijs, hoe hoger de voorraadkosten
- Geen lineair verband  
Bv: 10% stijging van de vraag, < 10% stijging van de EOQ
- EOQ zoekt evenwicht tussen bestel- en voorraadkosten  
 $TC(Q^*) = D.C_p + Q^*.C_h$

## Grafische voorstelling



## Additionele waarden

$T^*$  is de tijd tussen twee bestellingen ( $1/T = N$ )

$$T^i = \sqrt{\frac{2.C_o}{D.Ch}}$$

$N^*$  is het gemiddeld aantal orders (number of visits)

$$N^i = \sqrt{\frac{D.Ch}{2.C_o}} = \frac{D}{Q^i}$$

$$\text{Cyclusvoorraad} = \frac{Q^*}{2}$$

Het bestelpunt/orderpunt:  $OP = D.L$  - heeft niets te maken met  $Q$ . Als  $D$  de jaar vraag is, met je  $L$  ook uitdrukken in jaar, dus als het bv in weken is, is het delen door 52

## Voorbeeld

De Williams Company koopt jaarlijks 8000 eenheden van het product Alfa-line aan tegen een eenheidsprijs van 10 dollar. De kosten per bestelling bedragen 30 dollar. De voorraad-kosten worden geschat op 30% van de aankoopprijs per eenheid per jaar. De overbruggingsperiode wordt geschat op 2 weken.



### Optimale bestelgrootte

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8000 \cdot 30}{0,30 \cdot 10}} = 400 \text{ eenheden}$$

### Totale jaarlijkse kosten

$$TC(Q^*) = D \cdot C_p + Q^* \cdot C_h = 8000 \cdot 10 + 400 \cdot 3 = 81200 \text{ dollar}$$

### Aantal bestellingen per jaar

$$N^* = \frac{D}{Q^*} = \frac{8000}{400} = 20$$

### Tijd tussen opeenvolgende bestellingen

$$T^* = \frac{Q^*}{D} = \frac{400}{8000} = 0.05 \text{ jaar} = 18.25 \text{ dagen}$$

### Bestelpunt

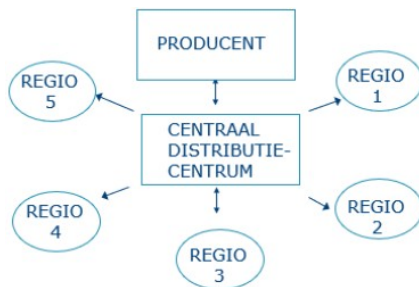
$$OP = \frac{D \cdot L}{52} = \frac{8000 \cdot 2}{52} = 307.7 \text{ eenheden}$$

jaarbasis vs. weekbasis

Als je zegt dat er 365 jaren per jaar zijn, moet je het er op het examen goed bijschrijven. Hier bv 2 weken per jaar geeft  $L = 2/52$ . In dit voorbeeld gaan we al weer bestellen als er nog maar 25% van de voorraad is geconsumeerd. Dit komt hier door dat het twee weken onderweg is.

## Toepassing: centralisatie van voorraden

### Centralisatie

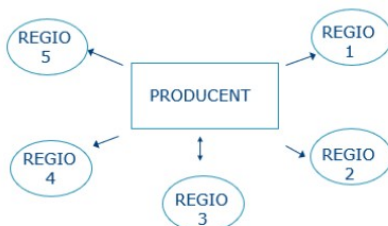


Je stock centraal bijhouden en zeer breed leveren. Los van de ecologische en transport kosten, gaan bedrijven toch centraliseren zoals Amazon in Duitsland. Volledige centralisatie heeft geen enkele stock in de vestigingen, alles is centraal opgeslagen.

- Producent levert alles aan centraal magazijn
- Alle voorraad : centraal opgeslagen
- Geen voorraad op regio-niveau
- Globale vraag :  $D$  eenheden per jaar, vraag blijft hetzelfde als zonder centralisatie.
- Gemiddelde voorraad =  $Q/2$  of

$$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot C_o \cdot D}{C_h}} = \sqrt{\frac{C_o \cdot D}{2 \cdot C_h}}$$

### Decentralisatie



Leverancier levert aan elke vestiging apart.

- Rechtstreekse levering aan regio's
- Centraal geen voorraad
- n regio's
- Vraag per regio =  $D/n = d_i \rightarrow D$  is niet afhankelijk van de hoeveelheid vestigingen, deze blijft gelijk dus deze kan voor het sommatieteken gebracht worden
- Gemiddelde voorraad (over regio's):

$$\sum_n \left( \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2 \cdot Co \cdot D/n}{Ch}} \right) = \sqrt{\frac{Co \cdot D}{2 \cdot Ch}} \sum_n \sqrt{\frac{1}{n}}$$

Waarom is er dan zo veel profijt aan centralisatie?

$$\frac{\text{gedecentraliseerd}}{\text{gecentraliseerd}} = \frac{\sqrt{\frac{Co \cdot D}{2 \cdot Ch}} \sum_n \sqrt{\frac{1}{n}}}{\sqrt{\frac{Co \cdot D}{2 \cdot Ch}}} = \sum_n \sqrt{\frac{1}{n}} = \sqrt{n}$$

Dus gedecentraliseerd =  $\sqrt{n}$  \* gecentraliseerd

Als we 4 regionale centra centraliseren, dan reduceert de voorraad met 50% ( $\sqrt{4}$ )

**Sensitiviteitsanalyse:** moet je niet kennen, gewoon waarom de DOQ robuust is  
De kom van de TC in de bovenstaande grafiek is zeer plat. Je kan dus horizontaal veel verschuiven zonder verticaal veel te voelen. Bv als je er 20% naast zit, zal het maar 0.025 schelen in kosten.

Slide 39 tot 51 niet te kennen.

## 2.2 Uitbreiding van de EOQ naar meerdere producten: gezamenlijke bestellingen

### Vorige les:

Het model in voorgaande les was een robuust model, fouten hebben weinig invloed. Het EOQ model gaan we nu verder uitbreiden. Dit was een een-product model, op voorwaarde dat vraag en aanbod onafhankelijk is van elkaar. In realiteit is dit niet zo.

### Uitbreiding van de EOQ naar meerdere producten: gezamenlijke bestellingen

Vraag gelijk over een tijdsperiode, verschillende afnamesnelheid

$C_o$  = totale bestelkosten

$D^{\$}$  = totale aankoopbedrag

$$N^* = \frac{\sum_j D_j}{Q'}$$

$$Q' = \sqrt{\frac{2 \cdot C_o \cdot \sum_j D_j}{C_h}}$$

$$N^* = \sqrt{\frac{\sum_j D_j C_h}{2 \cdot C_o}}$$

$$N^* = \sqrt{\frac{i \cdot D^{\$}}{2 \cdot C_o}}$$

Vanaf hier begonnen met de uitleg voor dit model. Hoe kan je een gemeenschappelijke noemer vinden voor dit model? Je jaarlijkse vragen zijn in verschillende eenheden bv liter en meter. Hiervoor gaan we alles uitzetten in een bedrag. Zie het voorbeeld hieronder.

Product A

Jaarlijkse vraag: 360 eenheden

Aankoopprijs : \$ 5,00 per stuk

Product B

Jaarlijkse vraag: 5 000 eenheden

Aankoopprijs : \$ 0,42 per stuk

Totaal aankoopbedrag :

$$360 \cdot 5,00 + 5\,000 \cdot 0,42 = \$ 3\,900$$

Hoe moet je dit bedrag van de winkel meenemen en thuis stockeren zodat het op jaarbasis het goedkoopste uitkomt? Hoe ga je deze kosten verdelen? Kijk je naar het gewicht, of elementen per product zoals certificaten?

Gezamenlijke bestelkosten: \$ 4,00

Vast: \$ 2,5 (per bestelling) en variabel: \$ 0.75 (per product)

$i$ : 20% - voorraadkost, stuk van het product dat je moet uitgeven om het product in bewaring te houden.  $N$  = optimaal aantal keer dat je naar de winkel moet rijden. Hier vervangen we het aantal stuks door het aantal euro's.  $D$  = vraag op jaarbasis.  $Q^*$  = aantal stuks per keer.

$$N^* = \sqrt{\frac{0,2 \cdot 3900}{2,4}} = 9,9$$

$$Q^* = D/N^* \quad A: 360/9,9 = 36 \text{ eenheden}$$

$$B: 5000/9,9 = 505 \text{ eenheden}$$

### 2.3 Model met eindige aanvulsnelheid: EPQ: economic production quantity

Voorraad modellen is een grote familie dat je kan opdelen in soorten. Dit gaan we hier dus ook doen. Dit is al wat verder af van de EOQ (bestelhoeveelheid vs productiehoeveelheid). Hier koop je bijvoorbeeld aan in bulk en moet je nog een proces werk aan hebben bv in zakjes steken of administratief werk. Je kan niet ieder product dat je binnen haalt dadelijk consumeren.

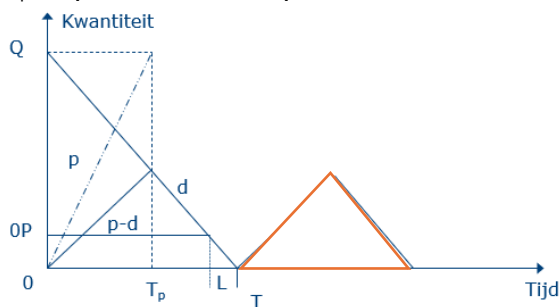
- Opvulratio  $p$  niet meer oneindig: continue aanvulling van voorraad, eindige aanvulsnelheid
- EPQ: economic production quantity
- Vraag  $d$  is deterministisch
- Lead time: gekend, onafhankelijk van de vraag
- Kostenfactoren: gekend, onafhankelijk van hoeveelheden
- Geen tekorten
- $p \geq d$
- $d$  = vraagritme, verbruik
- $p$  = aanvoer

In de deterministische wereld kan je exact aanvoeren wat je nodig hebt, in een realistische wereld kan dit niet. Dus daarom kan  $d$  hier ook nog gelijk zijn aan  $p$ , maar later niet meer.

#### Grafische voorstelling

$C_0$  = omstelkosten

$C_p$  = productiekost per eenheid



Van zodra het binnen komt, ga je het verbruiken, en elke keer gaat je voorraad weer groeien per  $p-d$ . Je stock blijft groeien tot heel je lot is uitgekapt, op tijdstip  $T_p$ . Hier moeten we de gemiddelde oppervlakte van de oranje driehoek op de X-as.

$$\text{Gemiddelde voorraad} = \frac{T_p \cdot (p-d)}{2}, \quad T_p = \frac{Q}{p}$$

$$\begin{aligned} \text{per cyclus} &= \frac{Q \cdot (p-d)}{2 \cdot p} \\ &= \frac{Q \cdot (1-d/p)}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Totale kosten} \quad TC(Q) &= D \cdot C_p + \frac{D \cdot C_0}{Q} + \frac{(p-d) \cdot Q}{2 \cdot p} \cdot C_h \\ TC(Q) &= D \cdot C_p + \frac{D \cdot C_0}{Q} + \frac{(1-d/p) \cdot Q}{2} \cdot C_h \end{aligned}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h} \cdot \frac{1}{(1-d/p)}} = EPQ$$

$$T_p = \frac{Q^*}{p}$$

$$OP = d \cdot L$$

$$TC(Q^*) = D \cdot C_p + \frac{Q^* \cdot (p-d)}{p} \cdot C_h$$

$$TC(Q^*) = D \cdot C_p + \sqrt{2 \cdot C_o \cdot C_h \cdot D \cdot (1-d/p)}$$

Belangrijk de formules zelf te kunnen gebruiken. De EOQ zit nu nog steeds in het model, maar is verfijnd. Indien je kijkt naar een zeer snelle productie, dan zal P zeer groot zijn. Verwerking is zeer snel, de helling p gaat richting oneindig. Hierbij zit je dan op je oude EOQ. Dit is belangrijk te kunnen doen met de modellen. Je consumptieritme is bijna gelijk aan het verbruiksritme waarbij d ongeveer gelijk is aan p. Je Q gaat hierbij oneindig en je blijft hierbij continue naar de winkel rijden. Indien p groter is dan d, zal je een negatief getal in de noemer krijgen en een negatief getal onder de wortel, zal je systeem plat leggen. In realiteit is dit ook zo als je meer consumeert dan verbruikt.

in jaren

$$T^* = \frac{Q^*}{D}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_o}{C_h \cdot D \cdot (1-d/p)}}$$

in dagen

$$T^* = \frac{Q^*}{d}$$

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_o}{C_h' \cdot d \cdot (1-d/p)}}$$

De kost een stuk 1 dag in stock te houden.

### Voorbeeld

- Interne vraag: 20 000 EH per jaar
- 250 werkdagen per jaar – indien niet gegeven, zelf assumptie maken en duidelijk weergeven
- Productiesnelheid: 100 EH per dag
- Overbruggingsperiode: 4 dagen
- $C_p = \$ 50,00$  per EH
- $C_h = \$ 10,00$  per EH per jaar
- $C_o = \$ 20,00$
- Bereken: Productiehoeveelheid, aantal runs per jaar, bestelpunt en TC

Per dag

$$d = 20\,000 / 250 \text{ EH} = 80 \text{ per dag}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h} \cdot \frac{p}{p-d}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20\,000 \cdot 20 \cdot 100}{10 \cdot (100 - 80)}} = 632 \text{ EH}$$

$$T = \frac{Q^*}{d} = \frac{632}{80} = 7,9 \text{ dagen}$$

$$C_h' = \frac{C_h}{250} = \frac{10}{250} = 0,04 \text{ per dag}$$

T = tijd tussen 2 bestellingen  
Ch = voorraadkost per dag

In jaren

$$T = \frac{Q^*}{D} = \frac{632}{20000} = 0,0316 \text{ jaar} (\times 250 = 7,9 \text{ dagen})$$

$$T = \sqrt{\frac{2 \cdot C_o}{C_h \cdot d \cdot (1 - d/p)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10 \cdot 20000 \cdot (1 - 0,8)}} = 0,0316 \text{ jaar}$$

d/p = bezettingsgraad (i.c. 80%)

(1 - d/p) = onbenutte tijd per dag (komen we nog op terug)

$$n = \frac{D}{Q^*} = \frac{20000}{632} = 31,6 \text{ runs per jaar}$$

Aantal runs

Hoeveel keer moet je een uitzetoperatie opzetten? Stel je hebt een apparaat nodig, dan moet je deze zoveel keer per jaar gaan reserveren etc.

Bestelpunt  $OP = d \cdot L = 80 \cdot 4 = 320 \text{ EH}$

Het punt van voorraad waarbij je weer moet gaan bestellen.

$$= 20000 \cdot 50 + \frac{632 \cdot (100 - 80)}{100} \cdot 10$$

Totale jaarlijkse kosten

$$= \$1001264$$

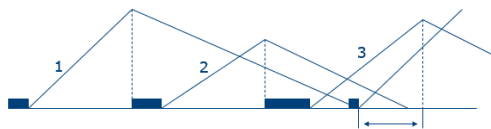
**De uitwerking van volgend probleem moet je niet kennen, enkel het probleem zelf.**

- Blokje is set-up tijd voor elk probleem, tijdverlies om over te schakelen naar andere producten bv veranderen van formaat bij de verpakkingen
- Voorbeeld: blikjes vullen: set-up 1 voor blikje 1, nadien op het moment als de 25cl blikjes gedaan zijn, naar set-up 2, etc. De hoogte van de Q is niet zomaar meer vrij te kiezen. Je moet zorgen dat je zodanig veel vult dat je alles in 1 shift kunt gaan vullen.

Productietijd  $T_p$  voor 1 product

(T -  $T_p$ ) staat de machine te wachten  $\neq$  meerdere producten

Elk product eigen cyclus/lotgrootte



Slides niet opgenomen in deze les, niet kennen. Slide 65 tot 77 niet kennen.

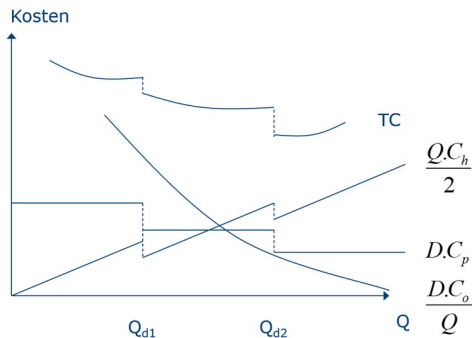
## 2.4 Model met vaste bestelhoeveelheid - hoeveelheidskortingen

Prijs per stuk daalt bij een grotere aankoophoeveelheid.

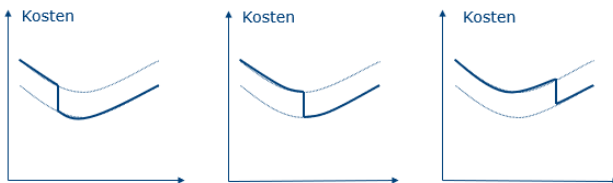
- Ifv grootte van de bestelling
- $EOQ < \text{Hoeveelheid voor korting?}$
- + : lagere eenheidsprijzen

- + : lagere bestelkosten, minder rijden, minder keren bestellen dus meer bestellen
- + : minder stockbreuken per jaar, je koopt alles voor een geheel jaar, maar hierbij heb je voldoende om de kans op tekortkomingen te verminderen
- - : hogere voorraadkosten: groter rek, grotere koelkast.
- - : kleinere voorraadrotatie
- Kortings op alles of incrementeel (enkel op de bijkomende flesjes?)

### Grafische voorstelling



Vanaf een bepaalde  $Q$ , zakt de prijs, maar hier is ook een grens aan. De bestelkost verandert eigenlijk niet. We gaan alles in de  $C_p$  steken, en de bestelkost houden hoe dat die is. Als vanaf een bepaalde hoeveelheid een andere prijs geldt, is er een ander stuk van de curve van belang. Er wordt een andere curve relevant want de prijs zakt. Hierbij gaat de bovenliggende curve niet meer tellen. Dus je moet kijken naar welke curve geldig is, een springpunt en kijken of dit een minimum bevat.



- Bereken totale kosten voor breekpunthoeveelheid
- EOQ per eenheidsprijs en totale kosten voor elke geldige EOQ
- Laagste totale kosten levert bestelhoeveelheid

### Voorbeeld: nakijken

- $D = 10\,000$  eenheden per jaar
- $C_o = 20$  dollar per bestelling
- $i = 20\%$  van de aankoopprijs
- $Q =$  de bestelhoeveelheid
- $C_p =$  de aankoopprijs
- $0 \leq Q \leq 499$  : \$ 5.00 per stuk
- $500 \leq Q \leq 999$  : \$ 4.50 per stuk
- $1000 \leq Q$  : \$ 3.90 per stuk

Springpunten evalueren:

$$TC(Q) = D \cdot C_p + \frac{D \cdot C_o}{Q} + \frac{Q}{2} \cdot C_h$$

$$\begin{aligned} TC(500) &= 10000 \cdot 4,50 + \frac{10000 \cdot 20}{500} + \frac{500}{2} \cdot 0,2 \cdot 4,5 \\ &= \$45000 + \$400 + \$225 \\ &= \$45625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC(1000) &= 10000 \cdot 3,90 + \frac{10000 \cdot 20}{1000} + \frac{1000}{2} \cdot 0,2 \cdot 3,90 \\ &= \$39000 + \$200 + \$390 \\ &= \$39590 \end{aligned}$$

Stel, de prijs is 5 voor alle hoeveelheden, er is geen korting toegepast. Maar deze berekening gaat niet op, er is een curve die lager ligt die relevant is. Hetzelfde doe je voor een prijs van 4.5 voor alles. 666 komt overeen met een prijs van 4.5, wat een toelaatbaar punt is, het ligt in het interval dus dit is relevant. Deze gaan we dan nog uitrekenen. Hier moet je dus per 1000 inkopen doen.

- EOQ per eenheidsprijs
- 633 voor \$ 5,00 (gaat niet op)
- 666 voor \$ 4,50
- 716 voor \$ 3,90 (gaat niet op)

$$\begin{aligned} TC(666) &= 10000 \cdot 4,50 + 10000 \cdot \frac{20}{666} + \frac{666}{2} \cdot 0,2 \cdot 4,50 \\ &= \$45000 + \$300 + \$299,70 \\ &= \$45599,70 \end{aligned}$$

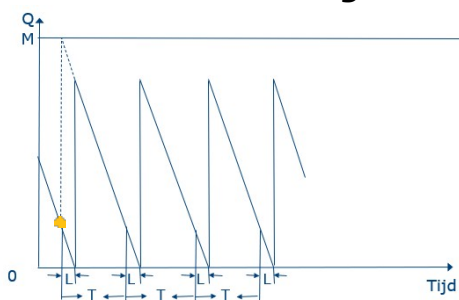
## 2.5 Model met vast bestelinterval

Model dat je laat afhangen van je consumptie. Alle modellen tot nu toe zijn orderpunt modellen: deze volgen de voorraad en je gaat naar de winkel als je bijna zonder zit, in functie van de consumptie. Modellen met een vast bestelinterval doen dit niet. Hierbij moet je kijken dat je niet zonder valt, en zorgen dat het niet te duur is. De T = tijd tussen 2 bezoeken. Dit model is tijdsgebaseerd.

### Notatie

- Tijd-gebaseerd
- Vraag is constant
- T : Herzieningsperiode
- M : Maximumvoorraadniveau
- N : Aantal bestellingen
- L : Overbruggingstijd

### Grafische voorstelling





Stel, je zit op de gele stip, en hier ga je kijken of je net zult toekomen tot 0. Op dit moment moet je in rekening brengen dat er toch nog bijkomende consumptie moet zijn. Je moet dus bijvullen tot M, maar tegen dat je vrijdag avond je boodschappen zult aanvullen, zal er vrijdag als geconsumeerd zijn, dus is er nooit een volledige hoeveelheid M in de koelkast.

#### Assumpties

- Herzieningsperiode T: Vast
- Bij aflopen T: bijbestellen tot M
- f(Beschikbare voorraad en GIB)
- Geen tekorten
- $N = 1/T$

$$TC(N) = D.C_p + N.C_o + \frac{D}{2.N}.C_h$$

$$TC(T) = D.C_p + \frac{C_o}{T} + \frac{D.T}{2}.C_h$$

#### Bepaling M en TC

- M voldoende groot voor opvangen vraag tijdens T en L
- $M = D.(T+L)$
- De vraag = T + L, L is dan die vrijdag die je moet overbruggen

$$\begin{aligned} TC(T^*) &= D.C_p + \frac{C_o}{T^*} + \frac{D.T^*}{2}.C_h \\ &= D.C_p + D.T^*.C_h \end{aligned}$$

#### Voorbeeld

"De Williams Company koopt jaarlijks 8000 eenheden van het product Alfa-line aan tegen een eenheidsprijs van 10 dollar. De kosten per bestelling bedragen 30 dollar. De voorraad-kosten worden geschat op 30% van de aankoopprijs per eenheid per jaar. De overbruggingsperiode wordt geschat op 10 dagen."

$$T^* = \sqrt{\frac{2.C_o}{D.C_h}} = \sqrt{\frac{2.30}{8000.3}} = 0,05 \text{ jaar of } 18,25 \text{ dagen}$$

$$M = D(T^* + L) = \frac{8000(18,25 + 10)}{365} = 619,17$$

$$Q^* = D.T^* = \frac{8000}{365} \cdot 18,25 = 400$$

$$M = 400 + 10.21,917$$

### 3. Voorraadmodellen met deterministische dynamische vraag

#### Assumpties en notatie

De vraag is deterministisch, hoeveelheden per maand, maar dynamisch met verschillende hoeveelheden per maand/week/etc. De vraag is dynamisch dus moet je je aankopen hierop afstellen, bv meer koele dranken in de zomer. De Q hangt af van T, de periode, en je hebt een eindvoorraad op einde van elke periode.

- $Q_t$  = bestelhoeveelheid periode t
- $I_t$  = eindvoorraad periode t

- $Co$  = bestelkosten
- $Ch$  = voorraadkosten, per periode, per stuk
- $Io = In = 0$ . Dit is als je begint, je begint en eindigt altijd met “een lege koelkast”, in de praktijk is dit niet altijd zo.
- $N$  = planningshorizon, je kan plannen per dag, per week, deze is eindig. In de praktijk schuift men gewoon op bv een week is net voorbij, dan plan je een nieuwe week in.
- Geen tekorten
- Geen beperkingen: in de praktijk wel
- Productiekosten per eenheid constant
- Eindige planningsperiode,  $n$  perioden lang
- Fluctuerende vraag
- Vraag deterministisch gekend
- Doel: Optimaal aankoopplan, de oplossing is optimaal

$I_{t-1} Q_t = 0$  (Wagner-Whitin voorwaarde)

Een deel overhouden van de vorige periode en een deel overhouden van de voorgaande periode is nooit optimaal, als je een deel over wilt hebben, zorg je dat je niet moet bestellen en omgekeerd.

### Aankoopplannen

Aankoopplan	Q1	Q2	Q3
1	10	20	15
2	30	0	15
3	10	35	0
4	45	0	0
5	11	19	15
6	12	18	15
7	12	19	14
8			
...			

Het is deterministisch, de aantallen dat je nodig hebt staan vast. Het is ook dynamisch want niet elk kwartaal gelijk. Je bestelt wat je nodig hebt, zodat je geen overschot hebt. Je hebt in het eerste plan geen stock en 3 bestellingen. Hierbij heb je geen voorraadkosten. Dit plan voldoet aan de voorwaarden. Bij het tweede plan, ga je in kwartaal 1 de bestelling doen voor 1 en 2. Hierbij heb je dus een bestelling minder maar je moet er een stock voor aanleggen. Ook dit plan voldoet aan de voorwaarde. Hetzelfde voor 3 en 4 met andere voorraden, maar voldoet aan de voorwaarde.

Vanaf plan 5 heb je ook 3x besteld, dus is het qua bestellingen even veel kosten. Je hebt hierbij wel voorraad dus hier heb je nog bijkomende voorraadkosten voor. Dus vanaf hier zijn de plannen inferieur, het wordt gedomineerd door de 4 voorgaande plannen. Er zijn dus maar 4 plannen die voldoen aan de voorwaarde.

### Overzicht heuristieken/regels

Optimaal is dat een zeer moeilijk probleem. De optimale oplossing is zeer lastig. Hierbij gaan we wel naar enkele vuistregels kijken die een soort oplossing geeft. Je kan dit zien als een “shortcut” in de berekeningen. Deze geven snel een oplossing maar de kwaliteit is niet gegarandeerd.

- Lot for lot

- Economic order quantity
- Moving economic order quantity
- Periodic order quantity
- Least unit cost
- Least total cost
- Part period balancing
- Silver-Meal-heuristiek

### Gegevens voor de voorbeelden

- $N = 24$  perioden, we gaan 24 weken zeggen
- $C_o = \$ 350$
- $C_h = \$ 1$  per eenheid, per periode om het in stock te houden
- $D_t$  = vraag per periode, deze gaat op en neer

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60

Vraag: wat is het goedkoopste, hoeveel ga je wanneer aankopen?

#### 3.1 Lot for lot ordering

- Voor elke periode de vraag bestellen, elke week bestellen wat je nodig hebt, geen stockkosten
- Enkel voor hoogwaardige onderdelen met lage bestelkosten
- Kan zeer nuttig zijn in fragile elementen bv organen, of andere elementen kunnen te duur zijn om aan te houden als stock bv diamantslijp, of met korte bewaartijd

#### 3.2 Economic Order Quantity (EOQ)

Bij de voorgaande modellen moet je een constante vraag hebben, maar hier hebben we dit niet. We kijken naar de gemiddelde vraag per week. De kost van een bestelling en de voorraad kost is gekend. Je gaat bestellen als je voorraad op het einde van de week kleiner is dan de voorraad die je de volgende week nodig hebt. Indien je zelfs met extra bestellen niet toekomt, moet je dus meer bestellen dan de EOQ.

$$\bar{D} = \left( \sum_{t=1}^{24} D_t \right) / n = 1210 / 24 = 50,4 \text{ eenheden}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{D} \cdot C_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot (50,4)}{1}} = 188 \text{ eenheden}$$

$$I_t \geq D_{t+1} \quad \text{bestel } 0$$

$$I_t < D_{t+1} \quad \begin{cases} \text{bestel } Q & \text{als } I_t + Q \geq D_{t+1} \\ D_{t+1} - I_t & \text{als } I_t + Q < D_{t+1} \end{cases}$$

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	188	-	-	188	-	188	-	-	-	-	188	-
$I_t$	128	78	38	126	76	114	54	44	24	4	132	62
periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	188	-	-	-	-	-	-	188	-	82	-	-
$I_t$	160	150	140	120	120	70	10	128	28	80	60	0

Q is wat je besteld, niet elke periode in dit voorbeeld. I is de overige stock op het einde van de week, waarbij je dan de week al dan wel of al dan niet kan overbruggen. Hierbij ga je dus bestellen als je de week niet meer kan overbruggen.

Je ziet bij de laatste bestelling dat ze geen 188 meer bestellen, maar 81. Dit is omdat je de plannen later zal vergelijken en we hierdoor willen eindigen met 0, zoals bij de "lot for lot".

## Moving Economic Order Quantity: Toepassing op voorbeeld

### Gemiddelde vraag over kleinere periode

De EOQ aanpassen aan de periode, we nemen hier het gemiddelde over de komende 4 (of een andere hoeveelheid) perioden. Hierbij ga je je dus aanpassen naar de komende periodes. Hierbij kijken we dus enkel naar de recent komende periodes, en gaan we deze afronden voor de komende periodes, zodat ze terug op 0 komen. Hierbij zal je bij een drukkere periode dus korter zitten met je bestellingen en je dus sneller gaat bestellen.

voor 4 perioden:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot ((60 + 50 + 40 + 100) / 4)}{1}} = 209 \text{ eenheden} \cong 250$$

$$Q_5 = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot ((50 + 150 + 60 + 10) / 4)}{1}} = 217 \text{ eenheden} \cong 200$$

$$Q_7 = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot ((60 + 10 + 20 + 20) / 4)}{1}} = 139 \text{ eenheden} \cong 110$$

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	250	-	-	-	200	-	110	-	-	-	220	-
$I_t$	190	140	100	0	150	0	50	40	20	0	160	90
periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	-	90	-	-	-	-	230	-	-	110	-	-
$I_t$	0	80	70	50	50	0	170	100	0	80	60	0

## Herhaling:

### 3. Voorraadmodellen met deterministische dynamische vraag

#### Assumpties en notatie

De vraag is deterministisch, hoeveelheden per maand, maar dynamisch met verschillende hoeveelheden per maand/week/etc. De vraag is dynamisch dus moet je je aankopen hierop afstellen, bv meer koele dranken in de zomer. De  $Q$  hangt af van  $T$ , de periode, en je hebt een eindvoorraad op einde van elke periode.

- $Q_t$  = bestelhoeveelheid periode  $t$
- $I_t$  = eindvoorraad periode  $t$
- $C_o$  = bestelkosten
- $C_h$  = voorraadkosten, per periode, per stuk
- $I_o = I_n = 0$ . Dit is als je begint, je begint en eindigt altijd met "een lege koelkast", in de praktijk is dit niet altijd zo.
- $N$  = planningshorizon, je kan plannen per dag, per week, deze is eindig. In de praktijk schuift men gewoon op bv een week is net voorbij, dan plan je een nieuwe week in.
- Geen tekorten
- Geen beperkingen: in de praktijk wel
- Productiekosten per eenheid constant
- Eindige planningsperiode,  $n$  perioden lang
- Fluctuerende vraag
- Vraag deterministisch gekend
- Doel: Optimaal aankoopplan, de oplossing is optimaal

$$I_{t-1} Q_t = 0 \text{ (Wagner-Whitin voorwaarde)}$$

Een deel overhouden van de vorige periode en een deel overhouden van de voorgaande periode is nooit optimaal, als je een deel over wilt hebben, zorg je dat je niet moet bestellen en omgekeerd.

#### Aankoopplannen

Aankoopplan	Q1	Q2	Q3
1	10	20	15
2	30	0	15
3	10	35	0
4	45	0	0
5	11	19	15
6	12	18	15
7	12	19	14
8			
...			

Probleem waarbij de vraag gekend is, je weet wat je nodig hebt om dit te doen. De hoeveelheden zijn dus gekend in de tijdshorizon (verdeeld in periodes). Je moet de zaken in stock houden, in een dynamische omgeving. Een klutske

overhouden van de vorige periode, is niet goed, dus de optimale oplossing heeft geen overschot op het einde van elke periode.

Het is deterministisch, de aantallen dat je nodig hebt staan vast. Het is ook dynamisch want niet elk kwartaal gelijk. Je bestelt wat je nodig hebt, zodat je geen overschot hebt. Je hebt in het eerste plan geen stock en 3 bestellingen. Hierbij heb je geen voorraadkosten. Dit plan voldoet aan de voorwaarden. Bij het tweede plan, ga je in kwartaal 1 de bestelling doen voor 1 en 2. Hierbij heb je dus een bestelling minder maar je moet er een stock voor aanleggen. Ook dit plan voldoet aan de voorwaarde. Hetzelfde voor 3 en 4 met andere voorraden, maar voldoet aan de voorwaarde.

Vanaf plan 5 heb je ook 3x besteld, dus is het qua bestellingen even veel kosten. Je hebt hierbij wel voorraad dus hier heb je nog bijkomende voorraadkosten voor. Dus vanaf hier zijn de plannen inferieur, het wordt gedomineerd door de 4 voorgaande plannen. Er zijn dus maar 4 plannen die voldoen aan de voorwaarde.

### Overzicht heuristieken/regels

Optimaal is dat een zeer moeilijk probleem. De optimale oplossing is zeer lastig. Hierbij gaan we wel naar enkele vuistregels kijken die een soort oplossing geeft. Je kan dit zien als een "shortcut" in de berekeningen. Deze geven snel een oplossing maar de kwaliteit is niet gegarandeerd.

- Lot for lot
- Economic order quantity
- Moving economic order quantity
- Periodic order quantity
- Least unit cost
- Least total cost
- Part period balancing
- Silver-Meal-heuristiek

### Gegevens voor de voorbeelden

- $N = 24$  perioden, we gaan 24 weken zeggen
- $Co = \$ 350$
- $Ch = \$ 1$  per eenheid, per periode om het in stock te houden
- $Dt =$  vraag per periode, deze gaat op en neer

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60

Vraag: wat is het goedkoopste, hoeveel ga je wanneer aankopen? Hoe ga je dit groeperen?

### 3.1 Lot for lot ordering

- Voor elke periode de vraag bestellen, elke week bestellen wat je nodig hebt, geen stockkosten, maar niet zo goedkoop want elke keer een bestelling plaatsen
- Enkel voor hoogwaardige onderdelen met lage bestelkosten
- Kan zeer nuttig zijn in fragile elementen bv organen, of andere elementen kunnen te duur zijn om aan te houden als stock bv diamantslijp, of met korte bewaartijd

### 3.2 Economic Order Quantity (EOQ)

Bij de voorgaande modellen moet je een constante vraag hebben, maar hier hebben we dit niet. We kijken naar de gemiddelde vraag per week. De kost van een bestelling en de voorraad kost is gekend. Je gaat bestellen als je voorraad op het einde van de week kleiner is dan de voorraad die je de volgende week nodig hebt. Indien je zelfs met extra bestellen niet toekomt, moet je dus meer bestellen dan de EOQ.

Eerst gaan we de vraag uitspreiden tot een gemiddelde over de periodes, maar hierbij zullen we overschotjes houden, waardoor deze oplossing niet de goedkoopste zal zijn.

$$\bar{D} = \left( \sum_{t=1}^{24} D_t \right) / n = 1210 / 24 = 50,4 \text{ eenheden}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{D} \cdot C_0}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot (50,4)}{1}} = 188 \text{ eenheden}$$

$$I_t \geq D_{t+1} \quad \text{bestel 0}$$

$$I_t < D_{t+1} \quad \begin{cases} \text{bestel } Q & \text{als } I_t + Q \geq D_{t+1} \\ D_{t+1} - I_t & \text{als } I_t + Q < D_{t+1} \end{cases}$$

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	188	-	-	188	-	188	-	-	-	-	188	-
$I_t$	128	78	38	126	76	114	54	44	24	4	132	62
periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	188	-	-	-	-	-	-	188	-	82	-	-
$I_t$	160	150	140	120	120	70	10	128	28	80	60	0

Q is wat je besteld, niet elke periode in dit voorbeeld. I is de overige stock op het einde van de week, waarbij je dan de week al dan wel of al dan niet kan overbruggen. Hierbij ga je dus bestellen als je de week niet meer kan overbruggen.

Je ziet bij de laatste bestelling dat ze geen 188 meer bestellen, maar 81. Dit is omdat je de plannen later zal vergelijken en we hierdoor willen eindigen met 0, zoals bij de "lot for lot".

## Moving Economic Order Quantity: Toepassing op voorbeeld

### Gemiddelde vraag over kleinere periode

De EOQ aanpassen aan de periode, we nemen hier het gemiddelde over de komende 4 (of een andere hoeveelheid) perioden. Hierbij ga je je dus aanpassen naar de komende periodes. Hierbij kijken we dus enkel naar de recent komende periodes, en gaan we deze afronden voor de komende periodes, zodat ze terug op 0 komen. Hierbij zal je bij een drukker periode dus korter zitten met je bestellingen en je dus sneller gaat bestellen.

voor 4 perioden:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot ((60 + 50 + 40 + 100) / 4)}{1}} = 209 \text{ eenheden} \approx 250$$

$$Q_5 = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot ((50 + 150 + 60 + 10) / 4)}{1}} = 217 \text{ eenheden} \approx 200$$

$$Q_7 = \sqrt{\frac{2 \cdot (350) \cdot ((60 + 10 + 20 + 20) / 4)}{1}} = 139 \text{ eenheden} \approx 110$$

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	250	-	-	-	200	-	110	-	-	-	220	-
$I_t$	190	140	100	0	150	0	50	40	20	0	160	90

---

periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	-	90	-	-	-	-	230	-	-	110	-	-
$I_t$	0	80	70	50	50	0	170	100	0	80	60	0

### Tot hier

#### 3.3 Periodic Order Quantity

1. Bereken de EOQ: die 188 is lastig, laten we even kijken voor hoeveel periodes we moeten bestellen, zodat we elke maand zonder overschot zullen eindigen.
2. Bereken het aantal perioden tussen de bestellingen ( $p$ ) door de EOQ te delen door gemiddelde vraag
3. Indien de berekende  $p$  geen geheel getal is:
  - a. Bereken de gemiddelde kost voor het eerst hogere geheel getal
  - b. Bereken de gemiddelde kost voor het eerst lagere geheel getal
  - c. Neem de  $p$  voor de laagste kost van de vorige twee berekeningen



## Toepassing op voorbeeld

1.  $EOQ = 188$

2. aantal perioden =  $EOQ / \bar{D} = 188 / 50,4 = 3,73$

3.  $\min \left( \frac{C_0}{p} + \frac{\bar{D}}{2} (p-1) C_h \right)$  voor  $p = p_+$  of  $p_-$

$\min \left\{ \frac{350}{3} + \frac{50,4}{2} (3-1) \cdot 1 ; \frac{350}{4} + \frac{50,4}{2} (4-1) \cdot 1 \right\}$

$\min \{167,1 ; 163,1\} \rightarrow p = 4$

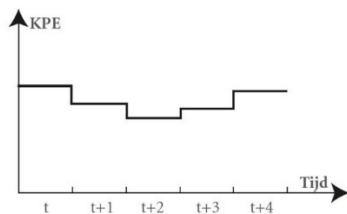
Hoe ver kan je komen met die 188? Daar kan je 3.73 periodes mee overbruggen. Je gaat dus afronden naar 3 of 4, waarbij je weet hoeveel je moet bestellen. De formule die minimaliseert, zal tonen hoelang je de voorraad moet bijhouden. Voor 3 periodes is dit 3-1, voor 4 periodes is dit 4-1.

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	250	-	-	-	270	-	-	-	170	-	-	-
$I_t$	190	140	100	0	220	70	10	0	150	130	70	0

periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	130	-	-	-	180	-	-	-	210	-	-	-
$I_t$	40	30	20	0	180	130	70	0	110	80	60	0

### 3.4 Least unit cost Grafische voorstelling



Figuur 20: Het least-unit-cost-concept

Indien je minder aantal keren moet bestellen, bv 1x voor 2 periodes, dan zal de kost per stuk afnemen. Dit zal terug toenemen als je de periode te groot maakt, omdat je dan veel voorraad kosten zult krijgen.

## Toepassing op voorbeeld

$KPE_1 = (350 + 0) / 60 = \$5,83$

$KPE_2 = (350 + 50) / 110 = \$3,64$

$KPE_3 = (350 + 50 + 40 + 40) / 150 = \$3,20$

$KPE_4 = (350 + 50 + 40 + 40 + 100 + 100 + 100) / 250 = \$3,12$

$KPE_5 = (350 + 50 + 40 + 40 + 100 + 100 + 100 + 50 + 50 + 50 + 50) / 300 = \$3,27$

Bestel voor 4 periodes

KPE1: alleen voor periode 1, 350 als kost en geen voorraadkost

KPE2: Bestellen voor periode 1 en 2, dus 350 als kost, met 50 extra voor periode 2, waardoor de hoeveelheid stuks nu 110 is  
voorraadkosten: 1 dollar per periode per stuk

→ 2x 40: voorraad van periode 3 naar periode 2 en van periode 2 naar periode 1

$$KPE_5 = (350 + 0) / 50 = \$7$$

$$KPE_6 = (350 + 150) / 200 = \$2,5$$

$$KPE_7 = (350 + 150 + 60 + 60) / 260 = \$2,39$$

$$KPE_8 = (350 + 150 + 60 + 60 + 10 + 10 + 10) / 270 = \$2,41$$

➡ Bestel voor 3 perioden

Nu wordt het minimum al bereikt na 3 periodes

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	250	-	-	-	260	-	-	180	-	-	-	-
$I_t$	190	140	100	0	210	60	0	170	150	130	70	0

---

Periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	130	-	-	-	-	280	-	-	-	110	-	-
$I_t$	40	30	20	0	0	230	170	100	0	80	60	0

$$CUM C_h = C_h \sum_{k=t}^{t+j} (k - t) D_k$$

Bereken  $\Delta^a$  = het verschil tussen  $C_0$  en  $CUM C_h$

$\Delta^b$  = het verschil tussen  $C_0$  en  $CUM C'_h$

met  $CUM C_h$  de cumulatieve voorraadkosten  $< C_0$

met  $CUM C'_h$  de cumulatieve voorraadkosten  $> C_0$

$$\text{Min} \{ \Delta^a, \Delta^b \} \quad \text{Aantal bestelperioden}$$

$$\begin{aligned}
 t=1 \quad & 0 * 60 = 0 < 350 \\
 & 0 * 60 + 1 * 50 = 50 < 350 \\
 & 0 * 60 + 1 * 50 + 2 * 40 = 130 < 350 \\
 & 0 * 60 + 1 * 50 + 2 * 40 + 3 * 100 = 430 > 350
 \end{aligned}$$

$$\Delta^a = 350 - 130 = 220$$

$$\Delta^b = 430 - 350 = 80 \quad \text{Minimum}$$

Bestel voor 4 perioden

60 van periode 1, heeft geen voorraadkost

50 van periode 2, heeft 50 voorraadkost

40 van periode 3, moet 2 periodes overbruggen dus x2 en heeft 40 voorraadkost

$$\begin{aligned}
 t=5 \quad & 0*50 = 0 < 350 \\
 & 0*50 + 1*150 = 150 < 350 \\
 & 0*50 + 1*150 + 2*60 = 270 < 350 \\
 & 0*50 + 1*150 + 2*60 + 3*10 = 300 < 350 \\
 & 0*50 + 1*150 + 2*60 + 3*10 + 4*20 = 380 > 350
 \end{aligned}$$

$$\Delta^a = 350 - 300 = 50$$

$$\Delta^b = 380 - 350 = 30 \quad \text{Minimum}$$

Bestel voor 5 perioden

Terug opnieuw beginnen na periode 1-4, alsof periode 5 terug periode 1 is.

$$\begin{aligned}
 t=10 \quad & 0*20 = 0 < 350 \\
 & 0*20 + 1*60 = 60 < 350 \\
 & 0*20 + 1*60 + 2*70 = 200 < 350 \\
 & 0*20 + 1*60 + 2*70 + 3*90 = 300 > 350
 \end{aligned}$$

$$\Delta^a = 350 - 200 = 150$$

$$\Delta^b = 470 - 350 = 120 \rightarrow \text{Minimum}$$

➡ Bestel voor 4 perioden

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	250	-	-	-	290	-	-	-	-	240	-	-
$I_t$	190	140	100	0	240	90	30	20	0	220	160	90

periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	-	90	-	-	-	-	260	-	-	-	80	-
$I_t$	0	80	70	50	50	0	200	130	30	0	60	0

Least total cost gaan we afronden naar beneden of boven, afhankelijk van wat er het beste bij aansluit.

### Part period balancing

- Bestel zodra  $CUM C_h > C_0$
- Economic part period =  $C_0 / C_h$
- Altijd naar beneden afronden

$$\begin{aligned}
 t=1 \quad & 0*60 = 0 < 350 \\
 & 0*60 + 1*50 = 50 < 350 \\
 & 0*60 + 1*50 + 2*40 = 130 < 350 \\
 & 0*60 + 1*50 + 2*40 + 3*100 = 430 > 350
 \end{aligned}$$

Bestel voor 3 perioden

### Toepassing op voorbeeld

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	150	-	-	300	-	-	170	-	-	-	-	200
$I_t$	90	40	0	200	150	0	110	100	80	60	0	130

---

periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	-	-	-	-	-	180	-	-	210	-	-	-
$I_t$	40	30	20	0	0	130	70	0	110	80	60	0

### 3.5 Silver-Meal-heuristiek

Op tijdstip  $t$  bestellen voor  $T$  perioden:

Totale kosten: 
$$H(T) = C_0 + C_h \sum_{j=1}^T (j-1) D_j$$

minimaliseer kost per periode: 
$$\frac{H(T)}{T}$$

Nu niet het gemiddelde per eenheid, maar de kost delen door periodes. De gemiddelde kost per periode.

#### Toepassing op voorbeeld

$t = 1 \quad T = 1 \quad (350 + 0 * 60) / 1 = 350$   
 $T = 2 \quad (350 + 0 * 60 + 1 * 50) / 2 = 200$   
 $T = 3 \quad (350 + 0 * 60 + 1 * 50 + 2 * 40) / 3 = 160$   
 $T = 4 \quad (350 + 0 * 60 + 1 * 50 + 2 * 40 + 3 * 100) / 4 = 195$

➡ Bestel voor 3 maanden

- Voor periode 1 bestel je voor periode 1 alleen, geen stockkosten
- Voor 2 periodes, is er stockkosten, en deel je door 2 periodes
- Voor 3 periodes, zijn er meer stockkosten, en deel je door 3 maanden

$t = 4 \quad T = 1 \quad (350 + 0 * 100) / 1 = 350$   
 $T = 2 \quad (350 + 0 * 100 + 1 * 50) / 2 = 200$   
 $T = 3 \quad (350 + 0 * 100 + 1 * 50 + 2 * 150) / 3 = 233,3$

➡ Bestel voor 2 maanden

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	150	-	-	150	-	260	-	-	-	-	260	-
$I_t$	90	40	0	50	0	110	50	40	20	0	200	130

---

periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	-	-	-	-	-	180	-	-	150	-	-	60
$I_t$	40	30	20	0	0	130	70	0	50	20	0	0

## Optimale oplossing met Wagner-Within algoritme

- Optimaal algoritme
- Dynamische programmering
- Veel meer rekenwerk

## Optimale oplossing met Wagner-Within algoritme

### Resultaat voor voorbeeld

periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vraag	60	50	40	100	50	150	60	10	20	20	60	70
$Q_t$	150	-	-	150	-	260	-	-	-	-	260	-
$I_t$	90	40	0	50	0	110	50	40	20	0	200	130

periode	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vraag	90	10	10	20	0	50	60	70	100	30	20	60
$Q_t$	-	-	-	-	-	180	-	-	210	-	-	-
$I_t$	40	30	20	0	0	130	70	0	110	80	60	0

6 bestellingen op een bepaalde manier gegroepeerd, wat de meest optimale oplossing is. Je zal nooit een goedkopere versie vinden. Op een ander voorbeeld kan dit algoritme echter wel langer duren.

### Overzicht kosten

	Bestelkost	Voorraadkost	Totaal (\$)
EOQ	2450	1946	4396
MEOQ	2450	1600	4050
POQ	2100	1800	3900
Lot for lot	8050	0	8050
Least unit cost	2100	1950	4050
Least total cost	2100	1950	4050
Part period balancing	2100	1500	3600
Silver-meal	2450	1090	3540
Wagner-whitin	2100	1270	3370

Dit kan je eens gebruiken en checken of je zelf deze getallen kan vinden. Dit zijn de totale kosten van alle plannen. De EOQ zit er dus toch best ver van af, dus dan zie je dat dit toch echt een groot verschil kan geven. Dit hangt wel sterk af van het voorbeeld, dus hebben ze enkele teststatistieken opgesteld en hier deze testen op losgelaten.

### Prestatie van de heuristieken op 4800 testvoorbeelden

Methode	Gem afwijking t.o.v. optimum	Aantal keer dat het optimum werd gevonden
Silver-Meal	2,955%	2529
Periodic order quantity	3,637%	1941
Least unit cost	5,218%	1758
Least total cost	8,262%	944
Economic order quantity	21,449%	253
Lot for lot	112,94%	878

In de praktijk weet je helaas niet wat het optimum is, dus kan het nog steeds zijn dat je er best ver van af zit. Zelfs lot-for-lot heeft af en toe het optimum gevonden. Er is dus het meeste kans de optimale oplossing te vinden bij de bovenste 2.

#### 4. Stochastische modellen

De getallen die in ons probleem zitten, zijn niet meer gekend. Hier beginnen we bij de vraag die niet meer gekend is, men weet niet hoeveel klanten er gaan komen, etc (puntje 1 tot 5)

##### 4.1 Eenmalige cyclus (eenmalige bestelling Q)

Stel: de verkoopprijs van een product is \$125 (a). De aankoopprijs bedraagt \$80 (c). Bij aanvang van het seizoen moeten de producten worden ingekocht. Onverkochte producten worden van de hand gedaan op het einde van het seizoen aan de sterk gereduceerde prijs van \$20 (v). Stel dat de leverancier zegt dat je enkel aan het begin mag aankopen. Je kan de overschot niet houden voor de volgende periode, eenmalige aankoop.

- $C_{un}$  = understocking cost
- $C_{ov}$  = overstocking cost
- $C_{un} = (a-c) = 45$
- $C_{ov} = (c-v) = 60$       typo!

##### Discrete verdeling van de vraag

Demand	Probability	Q	$Pr(D \geq Q)$
8 000	0,11	8 000	0,89
10 000	0,11	10 000	0,78
12 000	0,28	12 000	0,50
14 000	0,22	14 000	0,28
16 000	0,18	16 000	0,10
18 000	0,10	18 000	0,00

Tabel 3: De discrete verdeling van de vraag voor ons voorbeeld

De vraag met bijhorende kans op die vraag is gegeven. Een persoon die geen overschot wilt hebben, risico aversie, zal deze exacte hoeveelheid bestellen. De cumulatieve kans in de laatste kolom is de kans dat de vraag groter is dan de hoeveelheid dat je gaat bestellen, de kans dat je tekorten gaat hebben.

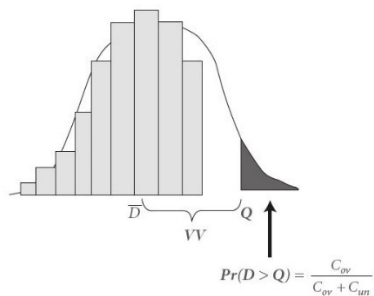
##### De economische voorraadbreekwaarschijnlijkheid

##### Wiskundige afleiding niet kennen:

- $C_{un} \cdot Pr(D \geq Q) = C_{ov} \cdot Pr(D < Q)$
- $C_{un} \cdot Pr(D \geq Q) = C_{ov} \cdot (1 - Pr(D \geq Q))$
- $Pr(D \geq Q) = C_{ov} / (C_{ov} + C_{un})$
- Voor het voorbeeld:
- $\frac{C_{ov}}{C_{un} + C_{ov}} = \frac{60}{60 + 45} = 0,5714$

=> Kies voor 12000 stuks (zie tabel): 57 staat niet in de tabel, als we 12 000 gaan bestellen, is het 50%, dus 50% is kleiner dan 57% dus ga je conservatiever zijn, je gaat dus zorgen voor meer stock en veiligheid (afpraak)

Het zal ertussenin liggen, de kans dat je de grootste of kleinste hoeveelheid gaat bestellen, is heel klein. Je zoekt het evenwicht tussen een euro uitgeven en een euro verliezen. Q is wat je besteld. Je moet dus een evenwicht vinden aan te veel bestellen en overschot hebben en te weinig bestellen en te kort te hebben.



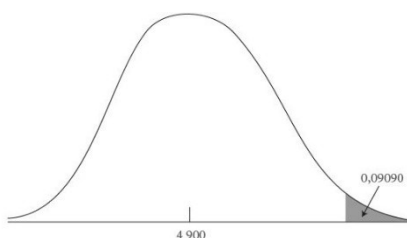
Figuur 21: Economische voorraadbreukwaarschijnlijkheid

## Continue verdeling van de vraag

Nu is Dstreep de verwachte gemiddelde vraag.

Veronderstel dat de vraag naar schoenen tijdens het winterseizoen gelijk is aan 4900 met standaarddeviatie van 560. Wij veronderstellen een normale verdeling. In de lente moet er reeds beslist worden hoeveel schoenen er moeten gekocht worden. De winst op een paar schoenen is 10 euro. Als er een overschot is op het einde van het seizoen, dan worden de schoenen verkocht aan sterk gereduceerde prijzen en verliest de verkoper 1 euro per paar.

- $\Pr(D \geq Q) = C_{ov} / (C_{ov} + C_{un}) = 1 / (10 + 1) = 0,09090$
- $\Pr(D \geq Q) = 0,09090$
- De corresponderende z-waarde = 1,33
- De optimale bestelhoeveelheid:  $Q^* = \bar{D} + z \cdot \sigma_D$ , waarbij z een aantal standaarddeviaties representeert en  $\sigma_D$ , de standaarddeviatie van de vraag
- Dus:  $4900 + 1,33 \cdot 560 = 5645$  paar schoenen



Figuur 22: De economische voorraadbreukwaarschijnlijkheid

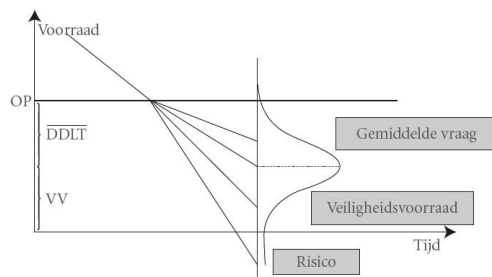
Voor de staart, ga je je niet indekken. Die laatste 10% is eigenlijk te duur, waarvoor je er niet in gaat investeren. Dit is de afweging tussen die 10 euro en 1 euro. De tabel op het einde van het hoofdstuk (de standaard normale tabel met de Z waarden) krijg je op het examen. De standaardnormale verdeling zet de 4900 om in 0, waarbij deze 4900 dan op het punt 1.33 komt te staan (zie hierboven)

## 4.2 Meerdere bestelcycli met verloren verkoop

### Notatie

- OP: bestelpunt/orderpunt
- DDLT: vraag tijdens de overbruggingsperiode (*demand during lead time*)
- $\Pr(\text{DDLT})$  = kans dat de vraag gelijk is aan DDLT (hoeveelheid gedurende deze periode)
- $\overline{\text{DDLT}}$ : gemiddelde vraag gedurende de overbruggingsperiode
- VV: veiligheidsvoorraad, voorraad die je niet nodig hebt als je vraag gemiddeld is, mocht je meer dan gemiddelde vraag hebben, heb je je veiligheidsvoorraad
- $\text{VV} = \text{OP} - \overline{\text{DDLT}}$

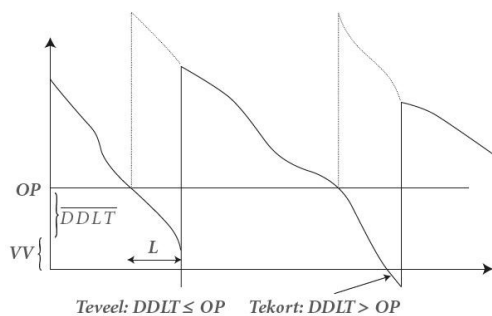
### Grafische voorstelling van veiligheidsvoorraad



Figuur 23: Het concept 'veiligheidsvoorraad'

De vraag is onzeker, kan meer of minder zijn. Zolang je meer veiligheidsvoorraad hebt dan je vraag is, ben je verzekerd. Indien de vraag groter is, kom je zonder te zitten. Hier zit je dan op het punt van verloren verkoop, als je vraag hebt en deze niet kunt voldoen. De klant gaat hierbij op een ander. Dit ben je dan kwijt als leverancier. Dit is de verloren verkoop, niet de verloren klant. De klanten zijn loyaal, maar alleen nu zijn ze niet bediend en gaan ze op een ander.

### Grafische voorstelling van (OP,Q)-model met stochastische vraag



Figuur 24: (OP,Q)-voorraadmodel met stochastische vraag

Al wat eronder zit, is weg. Hier moet je rekening mee houden want hierbij moet je dus een andere manier van bestellen aannemen. Op het moment dat je besteld, wordt je vaak geïnformeerd dat dit komende is (de grijze lijn op het moment dat je besteld), maar fysisch heb je deze bestelling nog niet. Hoe hoger je het orderpunt stelt, hoe kleiner de kans dat je zonder stock zal vallen. Het enige waar je mee kan spelen als organisator, is de veiligheidsstock. De L is nog altijd deterministisch. Het zaagtandmodel is nog steeds zichtbaar, maar het is geen rechte lijn meer.



## Verwachte voorraad op einde cyclus

$$OP - \left( \overline{DDLT} - \sum_{DDLT=OP+1}^{\max} (DDLT - OP) \Pr(DDLT) \right)$$

$$OP - \overline{DDLT} + E(DDLT > OP)$$

Demand during lead time start vanaf het orderpunt + 1. De tekorten mag je nu laten vallen.

## Verwachte voorraad in begin cyclus

$$OP - \overline{DDLT} + E(DDLT > OP) + Q$$

## Gemiddelde voorraad

$$OP - \overline{DDLT} + Q/2 + E(DDLT > OP)$$

## Corresponderende kosten

$$C_h (OP - \overline{DDLT} + E(DDLT > OP)) + C_h \cdot Q/2$$

We bepalen de Q en veiligheidsstock totaal onafhankelijk van elkaar. Maar eigenlijk zijn deze niet onafhankelijk. Hoe meer veiligheidsstock dat je aanhoudt, zal een invloed hebben op Q. Hoe groter de Q, ga je minder naar de winkel en heb je minder kans op tekorten.

## Bestelkosten

$$D/Q \times C_o$$

### Bepaling orderpunt

#### ◦ Marginale kosten

$$C_h \cdot \Delta \cdot \Pr(DDLT \leq OP)$$

#### ◦ Marginale opbrengsten

$$C_s \cdot \Delta \cdot \Pr(DDLT > OP) \cdot D/Q$$

#### ◦ In optimum

$$\Pr(DDLT > OP) = \frac{C_h \cdot Q}{C_s \cdot D + C_h \cdot Q}$$

De marginale kosten zijn de kosten om een beetje meer stock aan te leggen. Je hebt niets te kort, en je moet het bijhouden, wat zal je dat kosten? De marginale opbrengsten zijn de opbrengsten dat je uit deze klein beetje meer stock kan halen. Dit vermenigvuldig je met de hoeveelheid tekorten per jaar.  $C_s$  is de kost van de tekorten: heel lastig om hier een aantal euro's op te plakken. In het optimum is de veiligheidsstock afhankelijk van de  $C_h$ .

## Voorbeeld 1

- $D = 1\,800$  eenheden per jaar
- $C_o = \$ 30,00$  per bestelling
- $C_h = \$ 0,30$  per eenheid, per jaar
- $C_s = \$ 1,00$  per eenheid tekort

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800 \cdot 30}{0,30}} = 600 \text{ eenheden}$$

$$\Pr(DDLT > OP) = \frac{C_h \cdot Q}{C_h \cdot Q + C_s \cdot D} = \frac{0,30 \cdot 600}{0,30 \cdot 600 + 1,00 \cdot 1800} = 0,091$$

We berekenen eerst de Q, zodat we deze dan in de formule kunnen stoppen. De kans dat de vraag groter is dan het orderpunt, is nu 9%. Over welke kansverdeling gaat dit? Dit is een discrete kansverdeling, zoals in de tabel hieronder weergegeven. Je zoekt nu de 9% in de tabel, maar deze is er niet. Dus neem je de waarde net onder de 9%, waarbij je conservatief gaat kijken dus 5%. Hierbij doe je het beter dan 9% kans op niet kunnen voldoen aan de vraag. Nu is hier maar 5% kans toe.

Bereken van onderstaande tabel eens de gemiddelde vraag. Dat is hier dan  $(48 \cdot 0,02) + (49 \cdot 0,03) + \dots$

### Voorbeeld 1

Waarde	Kans	Pr(DDLT > waarde)
48	0,02	0,98
49	0,03	0,95
50	0,06	0,89
51	0,07	0,82
52	0,20	0,62
53	0,24	0,38
54	0,20	0,18
55	0,07	0,11
56	0,06	0,05
57	0,03	0,02
58	0,02	0,00

### Extra voorbeeld:

Dit voorbeeld is continue met een normale verdeling waarbij je in de tabel kan gaan kijken. Hier is de Q ook al gegeven, waar deze normaal nog berekend moet worden. Moest het een standaardnormale verdeling zijn, dan moet je je veiligheidsstock nemen als 1.58 standaarddeviaties. Deze komt bovenop het gemiddelde. Telkens als je stock in dit voorbeeld de grens van 458 bereikt, zal je bij bestellen. De kans dat je DDLT groter is dan het orderpunt, is 0.058.

Gegeven

- Vraag = 4000 eenheden per jaar
- $C_h = 1$ ,  $C_s = 4$
- $Q = 1000$
- $\overline{DDLT} = 300$ ,  $\sigma_{DDLT} = 100$

Bepaal het OP, verwacht aantal tekorten, gemiddelde voorraad

OP:

- $\Pr(DDLT \geq OP) = 1 \cdot 1000 / (4 \cdot 4000 + 1 \cdot 1000) = 0,058$
- $z = 1,58$
- $OP = \overline{DDLT} + z \cdot \sigma_{DDLT} = 300 + 1,58 \cdot 100 = 458$

Verwacht # tekorten: dit is het gemiddelde tekort over alle periodes heen, waarbij je vraag groter is dan je orderpunt. De  $E(z)$  tabel staat als tweede tabel op het einde van het hoofdstuk in het handboek. Je moet dus in de tabel gaan kijken voor de waarde 1.58. Je verwacht dus in dit voorbeeld dat er 2.4 klanten niet bediend zullen worden per cyclus.

- per cyclus:  $E(DDLT \geq OP) = E(z) \cdot \sigma_{DDLT} = 0,02436 \cdot 100 = 2,436$
- per jaar:  $2,436 \cdot (D/Q) = 10$

Gemiddelde voorraad:

- $Q/2 + (z \cdot \sigma_{DDLT}) + E(DDLT \geq OP) = 500 + 1,58 \cdot 100 + 0,02436 \cdot 100 = 660,4$

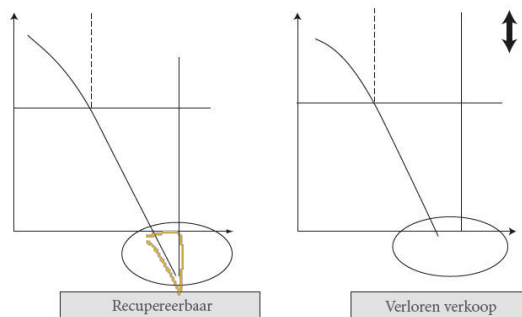
### Extra voorbeeld als oefening

- Vraag = 1 000 eenheden per jaar
- $C_h = 10$ ,  $C_s = 40$
- $Q = 100$
- $\overline{DDLT} = 38,46$ ,  $\sigma_{DDLT} = 8$
- Veronderstel dat de vraag verloren is bij een tekort. Bepaal het OP.
- $\Pr(DDLT \geq OP) = 10 \cdot 100 / (40 \cdot 1000 + 10 \cdot 100) = 0,024$
- $z = 1,98$
- $OP = \overline{DDLT} + z \cdot \sigma_{DDLT} = 38,46 + 1,98 \cdot 8 = 54,30$

### 4.3 Meerdere bestelcycli met recupereerbare verkoop

Mensen gaan hierbij niet op een ander op lange termijn. Het is statisch en de klant zal wachten tot het terug voorradig is. De gemiddelde voorraad is dan het orderpunt min de vraag gedurende de ordertijd.

#### Verschil met verloren verkoop



Figuur 25: Het verschil tussen verloren verkoop en recupereerbare verkoop

#### Verwachte voorraad op einde cyclus

$$\begin{aligned} & \sum_{DDLT=0}^{\max} (OP - DDLT) \cdot \Pr(DDLT) \\ &= \sum OP \cdot \Pr(DDLT) - \sum DDLT \cdot \Pr(DDLT) \\ &= OP - \overline{DDLT} = VV \end{aligned}$$

Orderpunt min gemiddelde vraag is de veiligheidsvoorraad.

#### Verwachte voorraad in begin cyclus

$$OP - \overline{DDLT} + Q$$

Gemiddelde voorraad

$$\begin{aligned} & 1/2 (OP - \overline{DDLT} + Q + OP - \overline{DDLT}) \\ &= OP - \overline{DDLT} + Q/2 \end{aligned}$$

Corresponderende kosten

$$C_h (OP - \overline{DDLT}) + C_h \cdot Q/2$$

Bestelkosten

$$D/Q \times C_o$$

De kost van de gemiddelde voorraad is de gemiddelde voorraad maal de kost per periode. De bestelkost is de kost van 1 bestelling maal het aantal keren dat je op en af gaat.

Verwachte tekorten per cyclus

$$\sum_{DDLT=OP+1}^{\max} (DDLT - OP) \cdot \Pr(DDLT)$$

Verwachte tekorten per jaar

$$D/Q \cdot \sum_{OP+1}^{\max} (DDLT - OP) \cdot \Pr(DDLT)$$

Corresponderende kosten

$$C_s \cdot D/Q \cdot \sum_{OP+1}^{\max} (DDLT - OP) \cdot \Pr(DDLT)$$

De hoeveelheid klanten in backorder zijn de hoeveelheid klanten boven de bestellimiet. De hoeveelheid dat je onder 0 kan gaan, is afhankelijk van de Q, de

hoeveelheid dat je naar de winkel kan gaan. In de praktijk is de  $C_s$ , de reële kost van de klant die we in backorder zetten, lastig te bepalen. Denk maar aan imagooverlies etc. Deze kost is nu wel gekend, en deze gaan we afwegen tov de andere kosten.

#### Economische bestelhoeveelheid

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h}}$$

#### Bepaling orderpunt

##### ◦ Marginale kosten

$$C_h(OP - \overline{DDLT} + Q/2 + \Delta) - C_h(OP - \overline{DDLT} + Q/2) = C_h \cdot \Delta$$

##### ◦ Marginale opbrengsten

$$C_s \cdot \Delta \cdot \Pr(DDLT > OP) \cdot D/Q$$

- In optimum (continu verdeling) → vergelijk met verloren verkopen kans hoger, OP lager: risico lager
- $$\Pr(DDLT > OP) = \frac{C_h \cdot Q}{C_s \cdot D}$$

De marginale kosten zijn de kosten, investeringen die je doet in een beetje extra stock. De marginale opbrengsten zijn hier de opbrengsten van. Hier kunnen we dan een ratio uithalen, wat lijkt op het vorige model, maar dan met een factor minder in de noemer. De kans dat de vraag lager is dan het orderpunt, de kans dat je dus meer klanten niet gaat bedienen, dan mag de kans dat er meer staan te wachten groter zijn, waarbij het orderpunt lager mag zijn. Het is dus beter dat klanten wat staan te wachten, in plaats van dat ze weg gaan.

#### Voorbeeld 1

- $D = 1\,800$  eenheden per jaar
- $C_o = \$ 30,00$  per bestelling
- $C_h = \$ 0,30$  per eenheid, per jaar
- $C_s = \$ 1,00$  per eenheid tekort

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800 \cdot 30}{0,30}} = 600 \text{ eenheden}$$

$$\Pr(DDLT > OP) = \frac{C_h \cdot Q}{C_s \cdot D} = \frac{0,30 \cdot 600}{1,00 \cdot 1800} = 0,10$$

→ vraag gedurende de doorlooptijd

#### Extra voorbeeld

Gegeven

- Vraag = 4000 eenheden per jaar,
- $C_h = 1$ ,  $C_s = 4$
- $Q = 1000$
- $\overline{DDLT} = 300$ ,  $\sigma_{DDLT} = 100$  → continue verdeeld

Bepaal het OP, verwacht aantal tekorten, gemiddelde voorraad. Stel, er is een praktische consequentie als er klanten in de wacht staan. Over hoeveel klanten gaat dit dan?

OP:

- $\Pr(\text{DDLT} \geq \text{OP}) = 1 \cdot 1000 / (4 \cdot 4000) = 0,0625$  (cfr. 0,058) - 6% kans om uit voorraad te gaan, dus dat je bestelling lager ligt dan je orderpunt.
- $z = 1,53$  (als je de waarde 0.0625 gaat opzoeken in de standaard normale tabel)
- $\text{OP} = \text{DDLT} + \text{VV} = 300 + 1,53 \cdot 100 = 453$  (cfr. 458)

Verwacht # tekorten

- per cyclus:  $E(\text{DDLT} \geq \text{OP}) = E(z) \cdot \sigma_{\text{DDLT}} = 0,027 \cdot 100 = 2,7$  - verwachte waarde van de vraag die groter is dan het orderpunt, wat is de verwachte waarde van "de diepte van het putje". Dit zijn hier dan 2.7 klanten die in backorder gaan, in wacht, tot de bestelling binnen komt/
- per jaar:  $2,7 \cdot (D/Q) = 10,8$  (cfr. 10) - vermenigvuldigen met het aantal cyclussen.

Gemiddelde voorraad:

- $Q/2 + (z \cdot \sigma_{\text{DDLT}}) = 500 + 1,53 \cdot 100 = 653$  (cfr. 660,4)

Als klanten bereid zijn om te wachten, is dit minder risicovol voor de onderneming.

### Centralisatie van voorraden: centralisatie-decentralisatie

Bij de EOQ, op basis van de gemiddelde cyclus voorraad, is het een voordeel te centraliseren. Ook voor de safety stock is dit voordeling. Het is een voordeel de gemiddelde voorraad centraal te leggen in functie van de safety stock. Stel, als elke apotheek een doosje medicament op stock heeft, kan deze vraag op dezelfde dag bediend worden. Indien ieder zich dus wilt beschermen tegen de onzekerheid van de markt, zou iedereen zijn eigen safety stock nodig. De onzekerheidsfactoren in functie van de safety stock willen worden opgevangen met decentralisatie.

Als we gaan poolen, worden de lage en hoge vragen op verschillende plaatsen door elkaar opgeheven. Hierbij gaan we de totale vraag optellen, en ook de standaarddeviatie. Deze som zal gelijk zijn als deze geheel onafhankelijk zijn.

**gedecentraliseerd**

$$\sigma_{\text{DDLT},i} = \sigma_{\text{DDLT}}$$

$$\sum z \cdot \sigma_{\text{DDLT}} = n \cdot z \cdot \sigma_{\text{DDLT}}$$

**gecentraliseerd**

$$\sigma_{\text{DDLT},\text{Totaal}}$$

**Met correlatie nul :**

$$\sigma_{\text{DDLT},\text{Totaal}}^2 = n \cdot \sigma_{\text{DDLT},i}^2$$

$$\sigma_{\text{DDLT},\text{Totaal}} = \sigma_{\text{DDLT},i} \cdot \sqrt{n}$$

$$\frac{\text{gedecentraliseerd}}{\text{gecentraliseerd}} = \frac{z \cdot n \cdot \sigma_{\text{DDLT}}}{z \cdot \sqrt{n} \cdot \sigma_{\text{DDLT}}} = \sqrt{n}$$

**Met positieve correlatie :**

$$\sigma_{\text{DDLT},\text{Totaal}} \leq \sum \sigma_{\text{DDLT},i} \quad \sigma_{\text{DDLT},\text{Totaal}} = \sum \sigma_{\text{DDLT},i}$$

- Correlatie = 0: er is geen enkel verband, de som van de varianties is de variantie van de som. In sectoren met een zeer onzekere vraag, is het goed te centraliseren.
- Correlatie = 1, dan is er geen mogelijkheid te poolen, iedereen moet op hetzelfde moment aan de vraag voldoen.

### 4.4 De kosten van een stockbreuk zijn niet gekend

## Geval 1: servicegraad per bestelcyclus (Cycle service level)

Dit is een fysische term, geen kostenterm. We gaan er 2 bekijken. De eerste gaat kijken naar de hoeveelheid keren dat je onder 0 kan gaan, vs het aantal keren dat je onder 0 gaat. Deze heeft tekortkomingen: hoe ver ben je onder 0 gegaan? Dit is de "Fill rate": hoeveel klanten op de 100 ben je verloren? Een andere maatstaaf is de hoeveelheid orders die volledig zijn afgewerkt?

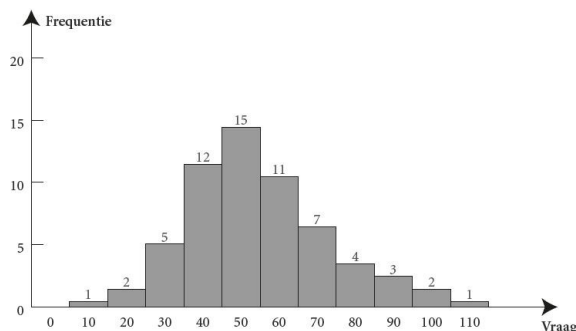
$$\text{Servicegraad} = \frac{\text{Aantal bestelperioden zonder stockbreuk}}{\text{Totaal aantal bestelperioden}}$$

$$\begin{aligned} \text{Pr(Stockout)} &= 1 - \frac{\text{Aantal bestelperioden zonder stockbreuk}}{\text{Totaal aantal bestelperioden}} \\ &= 1 - \text{servicegraad} \end{aligned}$$

### Voorbeeld 1

- Overbruggingsperiode: 1 week
- Gemiddelde vraag: 55 eenheden
- Verdeling gebaseerd op 63 waarnemingen
- BVB OP=90 →  $1/63 + 2/63 = 3/63 = 0,0476$  → Service = 95,24 %

In dit voorbeeld heb je een vraag die enkel discreet kan zijn. De overbruggingsperiode is een week, de gemiddelde vraag is 55. De kans dat de vraag 10 is, is  $1/63$ . Als we een fysische maatstaaf gebruiken, gaan we enkel het orderpunt bepalen. De kans dat je uit stock gaat lopen, zijn de vragen boven het orderpunt, dus 100 en 110, wat  $(2+1)/63$  geeft.



Figuur 26: Verdeling voor de vraag tijdens overbruggingsperiode

- $OP = DDLT + z \cdot \sigma_{DDL T}$   
 $z$  = een aantal standaarddeviaties  
 $\sigma_{DDL T}$  = st.dev. van de vraag tijdens DDLT
- Vraag normaal verdeeld, gem. = 55 en een st.dev. 20. Servicegraad: 95%  
→ naar tabel gaan en kijken op 95%, wat 1.64 geeft, waardoor:  
 $OP = 55 \cdot 1 + 1,64 \cdot 20 = 88$  eenheden  
Buffer is dus  $88 - 55 = 33$  eenheden

Hier zal dus iemand beslissen dat ze 95% willen bedienen, een bedrijf zet dit voorop. Enerzijds

### Voorbeeld 2: dit wordt in de praktijk het meest gebruikt

- Jaarlijkse vraag: normaal verdeeld; Gemiddelde : 8 000 eenheden;  
Standaarddeviatie : 1 000 eenheden
- Overbruggingsperiode : halve maand

- Servicegraad : 95%  
     → Bestelpunt?  
     → Grootte van de buffer (=veiligheidsstock)?

Gegevens omzetten naar halfmaandbasis (!!) De jaarvraag is 8000 stuks, maar de overbruggingsperiode is een halve maand. Als je een jaarvraag gegeven hebt, en de maanden hebben niet veel overlap met elkaar. Als je eens een zeer kalme maand hebt, en nadien weet je dat je een drukke maand gaat krijgen, dan is er juist wel een verband. Er mag dus geen verband zijn, geen seizoenen, etc.

$$D = 8000/24 = 333 \text{ EH}$$

→ het gemiddelde mag je delen

$$\sigma_{DDL T} = 1\,000 \cdot (1/24)^{0.5} = 204 \text{ EH}$$

→ je mag de varianties gaan optellen en vermenigvuldigen (nooit de standaarddeviaties) als deze onafhankelijk zijn. Hier is het uitgeschreven in de variantie. Hier moet je dan de wortel uit trekken om de standaarddeviatie te vinden.

$$OP = 333 + 1,64 \cdot 204 = 668 \text{ EH}$$

$$VV = 668 - 333 = 335 \text{ EH}$$

- 95% servicegraad met

$$\Pr(DDL T > OP) = \frac{C_h \cdot Q}{C_s \cdot D}$$

waarbij  $\Pr(DDL T > OP)$  vast

## Geval 2: servicegraad als fractie van het aantal eenheden gevraagd

$$\text{Fill Rate(FR)} = \frac{\text{Aantal EH onmiddellijk geleverd uit voorraad}}{\text{Totaal aantal EH gevraagd}}$$

$$1 - \text{Fill Rate} = \frac{\text{Verwacht aantal EH tekort}}{\text{Totaal aantal EH gevraagd}}$$

Dit is het aantal stuks dat je onmiddellijk kan leveren, tov de totale vraag. Daarnet keken we naar de hoeveelheid periodes, nu kijken we naar de hoeveelheid klanten.

### Voorbeeld

- Gemiddelde vraag per week: 55 EH
- Gemiddelde vraag per week variërend tussen 10 en 110
- Als  $OP = 80 \Rightarrow \text{service} = 90,48\%$  ( $=57/63$ ) - terug naar de voorgaande figuur met de categorische verdeling, en kijken wat er boven het orderpunt ligt.
- Stel dat we 13 keer per jaar bestellen, wat is dan verwacht aantal EH tekort?

Vraag	Kans	Tekort
90	3/63	10
100	2/63	20
110	1/63	30

- Per cyclus: 1,587 (gemiddelde aantal tekorten van een cyclus met deze verdeling  $((3 \cdot 10) + (2 \cdot 20) + (1 \cdot 30))/63$ ) Per jaar( $\times 13$ ) = 20,631



- Totale vraag per jaar:  $52.55 = 2860$  EH, waarvan je 20 niet gaat bedienen
- $1 - FR = 20,631/2860 = 0,007213 =$  kans op falen
- $FR = 0,9927$
- Cfr;: service level per cyclus: 90,48%!!

Je kan dus zowel de FR van 99 of de klanten die je bediend van 90 publiceren, dus de cijfers zijn te interpreteren en geven hetzelfde weer, ookal minder impressionant.

### Voorbeeld 1

- Verwachte vraag per lead time (2 weken), gem 36

Vraag	Kans
10	0,10
20	0,15
30	0,20
40	0,25
50	0,20
60	0,10
	1,00

- Verwachte vraag per jaar is 936
- We leggen het OP vast op 40 of 50.
- Wat is dan de VV?
- Wat is de service als kans om uit voorraad te lopen?
- Fill rate voor ordergrootte 36 en 78?
- Orderpunt 40
- Veiligheidsvoorraad =  $40 - 36 (= \text{verwachte vraag}) = 4$
- Service =  $1 - (0,2 + 0,1) = 0,7 \rightarrow$  we zijn maar 70% goed bezig
- Verwacht aantal eenheden tekort per cyclus

Vraag 50	Tekort 10	Kans	0,2
Vraag 60	Tekort 20	Kans	0,1
Verwacht tekort			4

- $Q=36$ , dan zijn er  $936/36 = 26$  (als je per 36 besteld, ga je 26x op en af) orders of  $26 \cdot 4 = 104$  aantal tekorten op een gans jaar
- Fill Rate =  $1 - (104/936) = 0,888$
- Orderpunt 40: zelfde orderpunt maar een andere Q (per 78 bestellen, dus minder naar de winkel en minder keren onder 0 geraken)
  - o  $Q=78$ , dan zijn er  $936/78 = 12$  orders of
  - o  $12 \cdot 4 = 48$  aantal tekorten
  - o Fill Rate =  $1 - (48/936) = 0,9487 \rightarrow$  gestegen
- Orderpunt 50  $\rightarrow$  enkel een probleem als er nu 60 vraag is, waardoor de tekorten daalt
  - o  $VV = 50 - 36 = 14$
  - o Service = 0,9
  - o Verwacht aantal EH tekort per cyclus = 1
  - o Voor  $Q=36$  is de Fill Rate 0,97223
  - o Voor  $Q=78$  is de Fill Rate 0,9871

We moeten de Q en het orderpunt nu samen bepalen, in plaats van deze voordien apart te berekenen.

### Continue verdeling voor de vraag

Eigenlijk gemakkelijkere berekeningen voor de continue vraag.

Het verwacht aantal tekort per jaar

$$E(z) \cdot \sigma_{DDL T} \cdot D/Q$$

$$1 - FR = \frac{E(z) \cdot \sigma_{DDL T} \cdot D/Q}{D}$$

$$1 - FR = \frac{E(z) \cdot \sigma_{DDL T}}{Q}$$

$$E(z) = \frac{(1 - FR) \cdot Q}{\sigma_{DDL T}}$$

Dit is het verwacht aantal tekorten voor 1 cyclus, maal het aantal cycli. Dit zijn de hoeveelheid klanten die je niet kan bedienen, 1 min de FR. Deze FR is gegeven, op voorhand opgesteld door het bedrijf, het Q is gegeven en de vraag is gegeven. Dit geeft dan een waarde voor E(z), die je in de tabel kan gaan opzoeken, waardoor je de z kan bepalen.

### Voorbeeld 2 (continue verdeling van de vraag)

- Jaarlijkse verkoop: 13 000 EH
- Standaarddeviatie: 40 EH (week)
- Bestelkosten: \$ 100
- Voorraadkosten: \$ 0,65 (/EH/jaar)
- Leveringstermijn: 4 weken
- Gewenste Fill Rate : 99 % - die stellen we nu voorop.
- Gevraagd: Orderpunt

$$EOQ = Q = \sqrt{\frac{2 \cdot 13000 \cdot 100}{0,65}} = 2000$$

$$\sigma_{DDL T}^2 = \sigma_D^2 \cdot \overline{LT} = 40^2 \cdot 4 \Rightarrow \sigma_{DDL T} = 80$$

$$E(z) = \frac{(1 - 0,99) \cdot 2000}{80} = 0,25 \Rightarrow z = 0,34$$

$$OP = \overline{DDL T} + z \cdot \sigma_{DDL T} = 250,4 + 0,34 \cdot 80 = 1027$$

De EOQ wordt nu apart berekend. We hebben de gegevens op jaarbasis en de std op een week. Dus de variantie is 4x de variantie van 1 week (de leveringstermijn is 4 weken). De ratio is 0.25, die ga je dan in de tabel opzoeken, wat een waarde van 0.34 geeft.

$z = 0,34 \rightarrow$  kans om uit voorraad te lopen is 36,69%

$$E(DDLT \geq OP) = E(z) \sigma_{DDLT} = 0,25 \cdot 80 = 20$$

$$\text{Aantal cycli per jaar} : \frac{13000}{2000} = 6,5$$

$$\text{Verwacht aantal tekorten per jaar} : 6,5 \cdot 20 = 130$$

d.i. 1% van de totale vraag

De Z in de standaardnormale verdeling is de staart. Dit is de kans om uit voorraad te lopen. De volume dat dus onder deze grens zit, kan je uit de tabel gaan halen. We gaan 6.5x bestellen, dus op jaarbasis heb je 130 klanten dat je niet bedient, wat 1% per jaar is.

#### 4.5 Model waarbij bestelpunt en -hoeveelheid afhankelijk bepaald worden

~4.3: Totale kostenfunctie

$$C_h \cdot Q/2 + \\ C_o \cdot (OP - \overline{DDLT}) + \\ C_o \cdot D/Q + \\ C_s \cdot D/Q \cdot \sum_{OP+1}^{\max} (DDLT - OP) \cdot \Pr(DDLT)$$

$$C_h \cdot (Q/2 + OP - \overline{DDLT}) + D/Q (C_o + C_s \cdot E(DDLT > OP))$$

Vanboven de gemiddelde voorraadkost. De DDLT is de safety stock.  $C_o$  is de bestelkost, zoals in de EOQ. De tekortkost staat op de vierde lijn, waarbij we moeten vermenigvuldigen met het aantal keren dat dit voorkomt. We hebben dit eigenlijk altijd apart berekend, maar nu zetten we dit allemaal samen. We moeten de Q en het OP zoeken, tegelijkertijd.

Procedure:

1. Bepaal EOQ
2. Bepaal OP van de EOQ
3. Bepaal aantal eenheden tekort per cyclus
4. Herbereken de EOQ (nieuwe waarde EOQ'): breng de kosten van de tekorten in bij de EOQ. Je kan pas tekorten hebben als je een bestelling plaatst, dus ga je de kost van de tekort toevoegen aan de bestelkost in de EOQ.
5. Ga terug naar stap 2. Stop als de waarde van EOQ' niet meer wijzigt

$$\begin{aligned}
1) \quad Q &= \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot C_o}{C_h}} \\
2) \quad \Pr(DDLT > OP) &= \frac{C_h \cdot Q}{C_s \cdot D} \\
&OP = \overline{DDLT} + z \cdot \sigma_{DDLT} \text{ of } \Pr(DDLT \geq OP) \\
3) \quad E(DDLT > OP) &\text{ of } E(z) \cdot \sigma_{DDLT} \\
&c_s \cdot E(DDLT \geq OP) \\
4) \quad Q' &= \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot [C_o + C_s \cdot E(DDLT > OP)]}{C_h}} \\
5)
\end{aligned}$$

Dit is toegepast op de recupereerbare verkoop, maar dit kan je ook doen op de verloren verkoop.

### Voorbeeld 1

- $D = 1\,800$  eenheden per jaar
- $C_o = \$ 30,0$  per bestelling
- $C_h = \$ 30,0$  per eenheid per jaar
- $C_s = \$ 8,0$  per eenheid
- Vraag tijdens overbruggingsperiode kent volgende verdeling:

DDLT	Pr(DDLT)	Pr(Stockbreuk)
48	0,02	0,98
49	0,03	0,95
50	0,06	0,89
51	0,07	0,82
52	0,20	0,62
53	0,24	0,38
54	0,20	0,18
55	0,07	0,11
56	0,06	0,05
57	0,03	0,02
58	0,02	0,00

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot 30 \cdot 1800}{30}} = 60 \text{ eenheden}$$

$$\Pr(\text{stockout}) = \frac{30 \cdot 60}{8 \cdot 1800} = 0,12 \rightarrow OP = 55 \text{ eenheden}$$

$$\begin{aligned}
E(DDLT > 55) &= \sum_{k=56}^{58} (k - OP) \cdot \Pr(DDLT = k) \quad \text{Typo! Also book!} \\
&= (56 - 55) \cdot 0,06 + (57 - 55) \cdot 0,03 + (58 - 55) \cdot 0,02 \\
&= 0,18
\end{aligned}$$

Je start met de berekening van het orderpunt. Wat is nu het verwacht aantal tekorten? Dit is nu 0.18. Hier gaan we dan de kost van berekenen en deze kost toevoegen aan de EOQ. Dit geeft dus een grotere EOQ. Hierbij ga je opnieuw het verwachte aantal tekorten bekijken. Hierbij blijven we bij 55 hangen, dus is hier al de pass-out. We convergeren heel snel, omdat het hier discreet is.

$$Q' = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800 \cdot [30 + 8 \cdot 0,18]}{30}} = 61,4 \rightarrow 61 \text{ eenheden}$$

$$\Pr(\text{stockout}) = \frac{30 \cdot 61}{8 \cdot 1800} = 0,127 \rightarrow OP = 55 \text{ eenheden}$$

## Voorbeeld 2

- D = 10 000 eenheden per jaar
- Co = \$ 24 per bestelling
- Ch = \$ 3 per eenheid per jaar
- Cs = \$ 4 per eenheid
- Vraag gedurende LT: 300, stdev: 100

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot 24 \cdot 10\,000}{3}} = 400 \text{ eenheden}$$

$$\Pr(DDLT \geq OP) = \frac{3 \cdot 400}{4 \cdot 10\,000} = 0,03 \rightarrow z = 1,88$$

$$OP = 300 + 1,88 \cdot 100 = 488$$

$$\begin{aligned} E(DDLT \geq OP) &= E(z = 1,88) \sigma_{DDLT} \\ &= 0,01164 \cdot 100 \\ &= 1,164 \end{aligned}$$

In de eerste EOQ is enkel de bestelkost van 24 in rekening gebracht. Dit geeft 1.16, wat ons ook kosten geeft, dus dit tellen we bij de EOQ in de tweede ronde.

$$Q' = \sqrt{\frac{2 \cdot 10\,000 \cdot [24 + 4 \cdot 1,164]}{3}} = 437$$

$$\Pr(DDLT \geq OP) = \frac{3 \cdot 437}{4 \cdot 10\,000} = 0,0328 \rightarrow z = 1,84$$

$$OP = 300 + 1,84 \cdot 100 = 484$$

$$E(z) \sigma_{DDLT} = 0,0129 \cdot 100 = 1,29$$

Hier is de nieuwe EOQ 437, waarbij het orderpunt nu op 484 staat. Deze kost zetten we opnieuw bij de EOQ, enzovoort. Hierbij gaan we dus richting 1 getal

$$Q'' = \sqrt{\frac{2 \cdot 10\,000 \cdot [24 + 4 \cdot 1,29]}{3}} = 441$$

$$\Pr(DDLT \geq OP) = \frac{3 \cdot 441}{4 \cdot 10\,000} = 0,033 \rightarrow z = 1,83$$

$$OP = 300 + 1,83 \cdot 100 = 483$$

$$E(z) \sigma_{DDLT} = 0,01323 \cdot 100 = 1,323$$

$$Q''' = \sqrt{\frac{2 \cdot 10\,000 \cdot [24 + 4 \cdot 1,323]}{3}} = 442$$

door convergentie. *Stabilisatie*

Dit algoritme illustreert hoe men in de realiteit dit doet, door middel van softwarepakketten.

## 4.6 Model met variabele overbruggingstijd

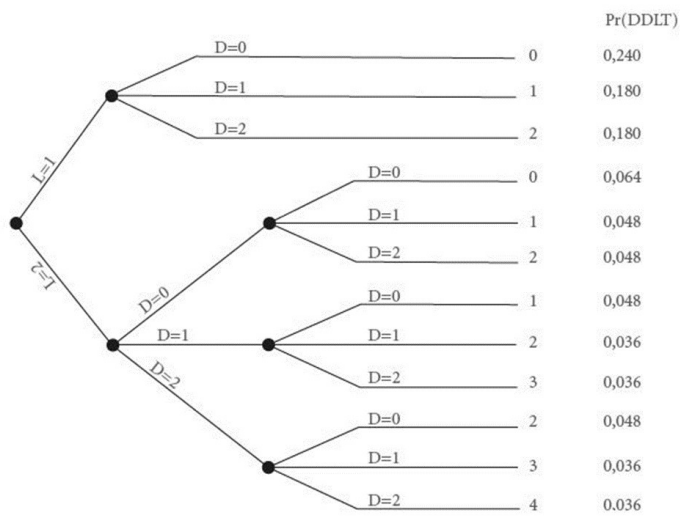
Niet enkel de vraag, maar ook de tijd wanneer de vraag binnenkomt wordt onzeker. We hebben een discreet verhaal, omdat we met kansverdelingen werken.

Vraag per dag	Kans
0	0,40
1	0,30
2	0,30
	1,00

We kunnen niemand, 1 of 2 klanten over de vloer krijgen per dag.

- Gemiddelde vraag : 0,9
- Overbruggingsperiode :
  - o 60% → 1 dag
  - o 40% → 2 dagen
  - o gemiddeld dus 1,4 dagen
- Vraag tijdens overbruggingsperiode kan waarden 0-4

Het minimum dat je kan realiseren, is dat je 2 dagen geen vraag krijgt, en het maximum is dat je 4 vragen krijgt over 2 dagen (2 per dag). We nemen aan dat de vraag onafhankelijk is van de tijd. Dit is discreet, dus moet je alle mogelijkheden combineren.



Figuur 27: Beslissingsboom voor de vraag tijdens de overbruggingsperiode

DDLT	Pr(DDLT=X)	Pr(stockbreuk)
0	0,304	0,696
1	0,276	0,420
2	0,312	0,108
3	0,072	0,036
4	0,036	0,000
	1,000	

De gemiddelde vraag tijdens de overbruggingsperiode is 1,26

## Notatie

Voor een continue verdeling :

- $OP = DDLT + z \cdot \sigma DDLT$
- $E(D)$  : verwachte vraag per periode
- $Var(D)$  : variantie van de vraag
- $E(L)$  : verwachte overbruggingstijd
- $Var(L)$  : variantie van de overbruggingstijd
- $DDLT = E(D) \cdot E(L)$
- $\sigma^2 DDLT = Var(D) \cdot E(L) + Var(L) \cdot [E(D)]^2$

## Voorbeeld

- $E(D) = 300$
- $Var(D) = 3\,600$
- $E(L) = 4$
- $Var(L) = 2$
- $Q = 3\,120$
- $FR = 99\%$
- Gevraagd: Orderpunt
- $DDLT = 300 \cdot 4 = 1\,200$
- $\sigma^2 DDLT = 3\,600 \cdot 4 + 2 \cdot (300)^2 = 194\,400$
- $\sigma DDLT = 440,90$
- $OP = DDLT + z \cdot \sigma DDLT$
- $$E(z) = \frac{(1 - FR)Q}{\sigma_{DDLT}} = \frac{(1 - 0,99)3120}{440,90} = 0,07076$$
- $z = 1,085$
- $OP = 1\,200 + 1,085 \cdot 440,90$   
 $= 1\,678,37$

## Herhaling:

Vorige les: met veel data kunnen ze met continue kansverdelingen werken.

### 4.6 Model met variabele overbruggingstijd

Niet enkel de vraag, maar ook de tijd wanneer de vraag binnenkomt wordt onzeker. We hebben een discreet verhaal, omdat we met kansverdelingen werken. Niet enkel de hoeveelheid is onzeker, maar ook de bestelperiode zelf is onzeker.

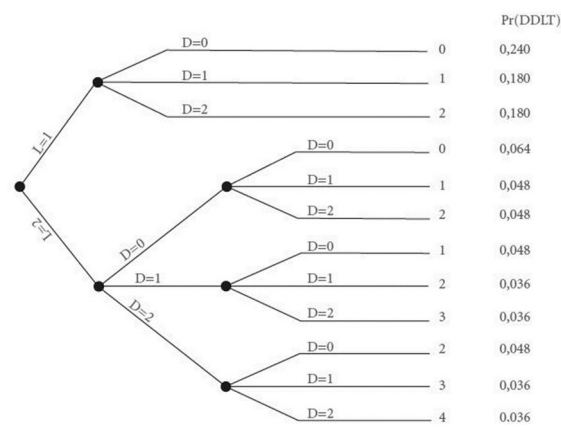
Vraag per dag	Kans
0	0,40
1	0,30
2	0,30
	1,00

Kans op de hoeveelheid klanten per dag.

We kunnen niemand, 1 of 2 klanten over de vloer krijgen per dag.

- Gemiddelde vraag : 0,9
- Overbruggingsperiode : de vraag per dag hangt af van de hoeveelheid dagen van de overbruggingsperiode van de levering
  - o 60% → 1 dag
  - o 40% → 2 dagen
  - o gemiddeld dus 1,4 dagen =  $(0.6 * 1) + (0.4 * 2)$  . Hierbij kan het zijn dat er 2 dagen op rij geen bestellingen zijn, en 2 dagen op rij een bestelling, en alle mogelijkheden tussenin.
- Vraag tijdens overbruggingsperiode kan waarden 0-4

Het minimum dat je kan realiseren, is dat je 2 dagen geen vraag krijgt, en het maximum is dat je 4 vragen krijgt over 2 dagen (2 per dag). We nemen aan dat de vraag onafhankelijk is van de tijd. Dit is discreet, dus moet je alle



mogelijkheden combineren. Figuur 27: Beslissingsboom voor de vraag tijdens de overbruggingsperiode

Als de bestelling 1 dag uit staat en binnen 1 dag geleverd wordt, is de mogelijkheid 0, 1 of 2. Deze twee (tijd en de hoeveelheid klanten tijdens die tijd) zijn onafhankelijk, dus deze kansen mag je vermenigvuldigen. Stel  $L=2$ , dit is de observatie dat het 2 dagen kan duren, en hier moet je bij kijken wat er gebeurt op dag 1 en op dag 2 dus moet je 3 dingen vermenigvuldigen. Hier zitten ook een aantal dubbeltjes tussen. Er zijn 2 mogelijkheden waarbij er niemand voorkomt: er is 1 dag en er komt niemand, of er zijn 2 dagen en beiden dagen komt



niemand.

DDLT	Pr(DDLT=X)	Pr(stockbreuk)
0	0,304	0,696
1	0,276	0,420
2	0,312	0,108
3	0,072	0,036
4	0,036	0,000
	1,000	

De gemiddelde vraag tijdens de overbruggingsperiode is 1,26 ( $0.9 * 1.4$  want deze zijn onafhankelijk dus zijn dit de gemiddeldes die je maal elkaar mag doen). Hier kunnen we ook inschatten hoeveel er dan eigenlijk zouden langskomen.

Dit is een discrete verdeling, maar bij een continue verdeling is dit veel lastiger. Als de doorlooptijd continue verdeeld is, en de vraag is normaal verdeeld, is het zeer lastig deze te beschrijven.

### Notatie

Voor een continue verdeling :

- $OP = DDLT + z \cdot \sigma DDLT$
- $E(D)$  : verwachte vraag per periode
- $Var(D)$  : variantie van de vraag
- $E(L)$  : verwachte overbruggingstijd
- $Var(L)$  : variantie van de overbruggingstijd
- $DDLT = E(D) \cdot E(L) \rightarrow$  vroeger tijd maal verwacht aantal eenheden, en nu net hetzelfde met de gemiddelde waardes (zie hierboven de 1.26)
- $\sigma^2 DDLT = Var(D) \cdot E(L) + Var(L) \cdot [E(D)]^2 \rightarrow$  de variantie, niet de stdv. Het tweede deel is altijd positief, dus er komt altijd een deel bij.

### Voorbeeld

- $E(D) = 300$
- $Var(D) = 3\,600$
- $E(L) = 4$
- $Var(L) = 2$
- $Q = 3\,120$
- $FR = 99\% \rightarrow$  fill rate: aantal klanten die je wenst te bedienen over alle klanten
- Gevraagd: Orderpunt
- $DDLT = 300 \cdot 4 = 1\,200 \rightarrow$  demand during lead time:  $300/d$  en het duurt 4 dagen
- $\sigma^2 DDLT = 3\,600 \cdot 4 + 2 \cdot (300)^2 = 194\,400$
- $\sigma DDLT = 440,90$
- $OP = DDLT + z \cdot \sigma DDLT$   
$$E(z) = \frac{(1 - FR)Q}{\sigma_{DDLT}} = \frac{(1 - 0,99)3120}{440,90} = 0,07076$$
- $z = 1,085$
- $OP = 1\,200 + 1,085 \cdot 440,90$

$$= 1\,678,37$$

- ➔ Orderpunt: continue stock opvolgen en bestelling op het moment dat het orderpunt bereikt wordt. Het kan zijn dat je tijd en hoeveelheid onzeker is.

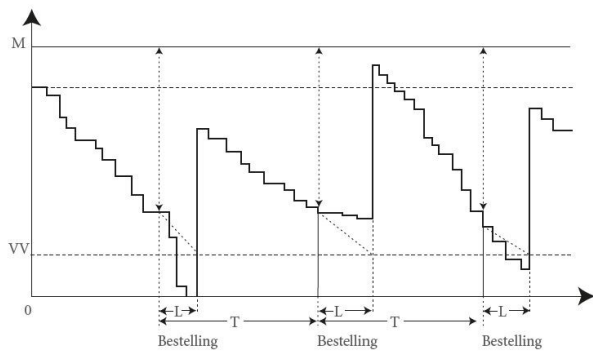
**Tot hier**

#### 4.7 Voorraadpolitiek met vast bestelinterval

Hier is je vraag onzeker en zal je elke week een andere hoeveelheid meenemen. Stel, je koopt een hoeveelheid elke vrijdag avond. Als je vrijdag morgen in de koelkast kijkt, zou je graag een hoeveelheid zien liggen (dit is het maximale voorraadniveau  $M$ ). Hierin moet ook je tijd dat de bestelling uitstaat kunnen overbruggen. De  $L$  moet dus ook in rekening gebracht worden door  $M$ .

##### Notatie

- $T$  = bestelinterval
- $L$  = overbruggingstijd
- DDTL = gem. vraag in overbruggingsstijd  $L$  en bestelinterval  $T \rightarrow$  demand during  $D + L$  als we met vasten bestelintervallen werken
- $\sigma_{DDTL}$  = standaarddeviatie
- $D$  = de (stoch.) vraag in jaar
- $M$  = maximum voorraadniveau



Figuur 30: Model met vast bestelinterval

Het stippenlijntje brengt je uit op het punt tot waar je zou moeten kunnen overleven met de hoeveelheid die je mee van de winkel genomen hebt.

gemiddelde voorraad

$$\frac{M - \overline{DDTL}}{M - \overline{DDTL} + DT} \left\} M - \overline{DDTL} + \frac{DT}{2}$$

gemiddelde voorraadkosten

$$C_h \left( M - \overline{DDTL} \right) + C_h \cdot \frac{DT}{2}$$

bestelkosten

$$C_o \cdot \frac{1}{T}$$

verwacht aantal eenheden tekort

$$\frac{1}{T} \cdot \sum_{M+1}^{\max} (M - DDTL) \cdot \Pr(DDTL)$$

met

$$M = \overline{DDTL} + z \cdot \sigma_{DDTL}$$

Hoeveelheid die besteld wordt

$$\overline{DDTL} + z \cdot \sigma_{DDTL} - I$$

We zoeken de  $T$ , de periode over welke we naar de winkel moeten. DDTL: demand during  $T+L$  time. In de deterministische benadering is er geen stdv op de vraag, maar hier dus wel dus zal je afhankelijkheid hiervan meer of minder

moeten bestellen als je naar de winkel gaat.

Als  $C_s$  gekend, voorraadbreukkans =

$$\Pr(DDTL \geq M) = \frac{C_h \cdot Q}{C_s \cdot D} \quad \text{met} \quad Q = D \cdot T$$

$$\Pr(DDTL \geq M) = \frac{C_h \cdot T}{C_s}$$

### Voorbeeld

- Bestellingen (T) = 1/3 jaar (4m)
- Leveringsduur (L) = 1/9 jaar
- Vraag is normaal verdeeld met gemiddelde = 990 per jaar
- standaarddeviatie = 40/jaar
- $C_h$  = 100 per jaar
- $C_s$  = 150 per eenheid

$$T + L = 4/9 \text{ jaar}$$

$$\overline{DDTL} = 990 \cdot 4/9 = 440$$

$$\sigma_{DDTL} = \sqrt{4/9} \cdot \sqrt{1600} = 26,67$$

$$\Pr(DDTL \geq M) = \frac{100 \cdot 1/3}{150} = 0,222$$

$$z\text{-waarde} = 0,77$$

$$M = 440 + 0,77 \cdot 26,67 = 460,54$$

→  $DDTL = 990$  per jaar \*  $4/9$  jaar → met de berekening van de stdv en de kans op  $DDTL > M$ , kan je de gemiddelde  $M$  gaan berekenen. Je besteld dus om er 460 te hebben ( $M$ ), maar deze hoeveelheid zal je normaal nooit in de frigo zien liggen (tenzij niemand er iets van consumeert tot je de voorraad ziet). De  $M$  is dus om een zekere capaciteit te kunnen voorzien.

## Simulatie (T=4, L=3, M=811)

Dag	Beginvoorraad	Ontvangen orders	Vraag per dag	Eindvoorraad	Voorraadpositie	Bestelhoeveelheid
1	113	442	143	412	412	-
2	412	-	82	330	330	481
3	330	-	103	227	708	-
4	227	-	127	100	581	-
5	100	-	85	15	496	-
6	15	481	60	436	436	375
7	436	-	94	342	717	-
8	342	-	87	255	630	-
9	255	-	102	153	528	-
10	153	375	42	486	486	325
11	486	-	123	363	688	-
12	363	-	148	215	540	-
13	215	-	85	130	455	-
14	130	325	67	388	388	423
15	388	-	83	305	728	-
16	305	-	123	182	605	-
17	182	-	108	74	571	-
18	74	423	88	409	409	402
19	409	-	120	289	691	-
20	289	-	138	151	553	-
21	151	-	74	77	479	-

Vast bestelinterval: log file in een systeem geprogrammeerd. De voorraad positie en eindvoorraad: je kijkt op een bepaald moment in de koelkast en een ander persoon doet hetzelfde op een later tijdstip. Indien ze dan beiden naar de winkel gaan, is het fout. Je moet dus een zicht hebben op alle uitstaande bestellingen.  $L = 3$  dus de bestellingen zijn 3 dagen onderweg.  $T = 4$  dus er zijn 4 periodes tussen alle bestellingen.

Voorraadpositie: bv 708 is de hoeveelheid die nog in de frigo ligt op het einde van de derde periode plus de bestelhoeveelheid van dag 2. Indien je geen bestelling hebt gedaan de periode ervoor, is je voorraadpositie gewoon gelijk aan de eindvoorraad zoals in periode 6.

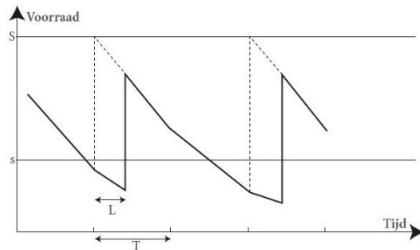
## Simulatie (OP=373, Q=442, L=3)

Dag	Beginvoorraad	Ontvangen orders	Vraag per dag	Eindvoorraad	Voorraadpositie	Bestelhoeveelheid
1	113	442	143	412	412	-
2	412	-	82	330	330	442
3	330	-	103	227	669	-
4	227	-	127	100	542	-
5	100	-	85	15	457	-
6	15	442	60	397	397	-
7	397	-	94	303	303	442
8	303	-	87	216	658	-
9	216	-	102	114	556	-
10	114	-	42	72	514	-
11	72	442	123	391	391	-
12	391	-	148	243	243	442
13	243	-	85	158	600	-
14	158	-	67	91	533	-
15	91	-	83	8	450	-
16	8	442	123	327	327	442
17	327	-	108	219	661	-
18	219	-	88	131	573	-
19	131	-	120	11	453	-
20	11	442	138	315	315	442
21	315	-	74	241	683	-

Niet meer om de 4 periodes gaan bestellen, maar de voorraad continue in de gaten houden. Op het einde van dag 2 is de eindvoorraad kleiner dan 373 (de voorraadpositie zakt onder het orderpunt). Als je spontaan een grote vraag is, dat

je bestelling die onderweg is zelf niet voldoende is voor boven het orderpunt te blijven, heb je een tweede bestelling uitstaan. De LT is 3 dus duurt het 3 dagen tot de bestelling binnen komt.

#### 4.8 Het minimum-maximumvoorraadmodel: de (s,S)-bestelregel



Figuur 31: (s,S)-voorraadmodel

(niet kennen voor examen)

Dit is een combinatie van de 2 modellen die we gezien hebben, Dit is het minimum-maximum model. We gaan aanvullen naar een ideaal niveau en toch proberen op een minimum te blijven. Denk aan vaccins: je wilt er rekening houden met het voorraadpunt, dus moet wel ergens een voorraad hebben, maar ook niet gigantisch veel. Je wilt hierbij inspelen op bepaalde noodgevallen en zal zorgen voor toch een minimale voorraad. → *enkel naam kennen, geen berekeningen rond.*

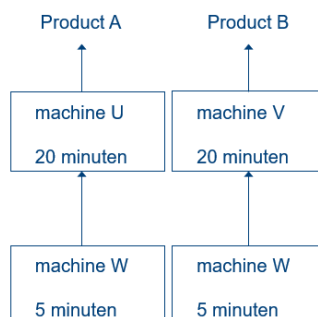
#### Voorraadmodellen met beperking → *niet kennen, later wel enkele elementen rond terug gekomen* Inleidend voorbeeld

- Vraag: 1 000 EH per periode
- Omstelkosten: \$ 300 per uur
- Omsteltijd: 5 uur
- Voorraadkosten: \$25 /EH per periode

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 \cdot 1500}{25}} = 36 \text{ eenheden}$$

- Variabele productietijd: 7,4 min /EH
- Maximum 8 000 min beschikbaar
- $8\,000 - 1\,000 \cdot 7,4 = 600$  min voor omstellingen
- $600/300 = 2$  omstellingen per tijdspanne
- $1\,000/2 = 500$  is de ordergrootte

#### Inleidend voorbeeld 2



- Omsteltijd W: 180 minuten
- Knelpunt: U en V

- Voor 1 A en 1 B:
  - o 10 min W
  - o 20 minuten U en V
- 50% tijd op W om om te stellen
- $180/5 = 36$  eenheden als ordergrootte

### Inleidend voorbeeld 3

Product	Vraag per jaar	Kostprijs per eenheid	omsteltijd (uren)	EOQ	Omstel-tijd (jaar)
A	3 000	6,12	5,5	274*	60,0**
B	2 000	2,85	6,0	343	35,0
C	8 000	0,56	7,0	1 673	33,6
D	1 100	2,26	4,0	233	18,9
E	600	4,08	4,0	128	18,8
F	1 200	0,91	2,0	271	8,9
G	300	3,09	4,0	104	11,6
H	2 000	0,52	2,0	516	7,7
I	275	2,05	8,0	173	12,7
J	615	0,79	6,0	361	10,2

$$* = \sqrt{\frac{2 \cdot 3000 \cdot (5,5 \cdot 2,8)}{0,2 \cdot 6,12}} = 274 \quad ** = (3000/274) \cdot 5,5 = 60$$

**217,4**

### Notatie

- $D_j$  = vraag naar product j
- $C_o$  = omstelkosten
- $S_j$  = omsteltijd
- $Q_j$  = ordergrootte
- $C_p$  = kostprijs
- $i$  = voorraadkosten (%kostprijs)
- $H_L$  = beperkte omsteltijd

$$\min TC = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{D_j \cdot C_o \cdot S_j}{Q_j} \right] + \left[ \frac{i \cdot C_p \cdot Q_j}{2} \right]$$

$$\text{zodanig dat } \sum_{j=1}^n \frac{D_j \cdot S_j}{Q_j} \leq H_L$$

- Lagrange - optimalisatie
  - huidige omsteltijd per jaar
- Stap 1:  $M =$  beperkte omsteltijd per jaar
- Stap 2 :  $Q_j \cdot M$  voor nieuwe ordergroottes

## Terug naar het inleidend voorbeeld 3

Product	nieuwe ordergrootte	Omsteltijd (jaar)
A	391*	42,4
B	490	24,5
C	2 389	23,4
D	333	13,3
E	183	13,1
F	387	6,2
G	149	8,1
H	737	5,4
I	247	8,9
J	576	7,2

$$* = 274.1,425 = 391 \quad \text{met } M = \frac{217,4}{152,5} = 1,425$$

## impliciete voorraadkosten

$$i_{\text{impliciet}} = i_{\text{oud}} \cdot \left[ \frac{\text{beperkte omsteltijd per jaar}}{\text{huidige omsteltijd per jaar}} \right]^2$$

$$= 0,2 \cdot \left[ \frac{152,5}{217,4} \right]^2$$

$$= 0,098$$

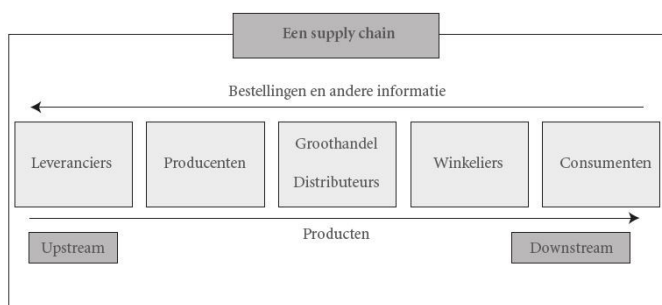
$$EOQ = \sqrt{\frac{2.3000.(5,5.2,8)}{0,098.6,12}} = 391$$

## Tot hier - vanaf hier terug kennen

### 5. Coördinatie van de supply chain

Al de connecties en voorraden lopen door elkaar. Hoe coördineer je dat en hoe kan dat allemaal fout lopen?

#### 5.1 Supply chain management

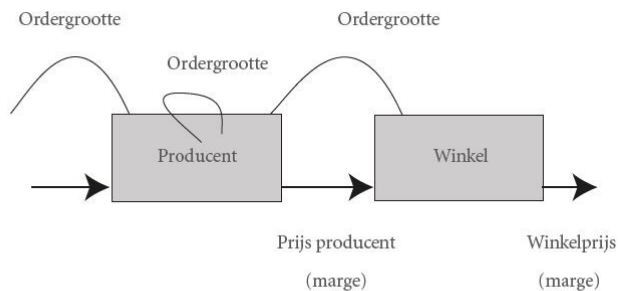


Figuur 32: Schematische voorstelling van een supply chain

Voor een producent zijn er veel leveranciers, veel vestigingen, etc. Dit is een netwerk van verbindingen, de supply chain. Een klant kan je overal vinden, maar de consument is vaak het eindpunt. Dit is ook niet altijd echt het einde, de consument kan ook doorverkopen en zo begint de supply chain opnieuw.

- Materiaalstroom: van grondstof naar consument (met nadien recyclage of retourneren: reverse flow, moet ook gemanaged worden) – traditioneel van links naar rechts. Als het materiaal op en af gaat, gaan de financiën vaak ook op en af.
- Informatiestroom: scannen, etc.
- Financiële stroom: financiën hoe het wordt gefinancierd

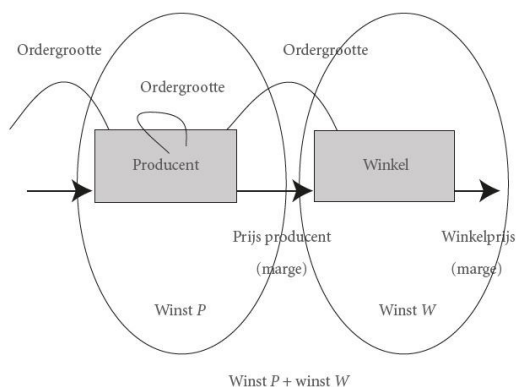
## Coördinatie via ordergroottes en prijzen



Figuur 33: Een 'eenvoudige' supply chain met een producent en een winkel

Voorbeeld: pampers. Een ordergrootte is vaak het gemiddeld gebruik en de safety stock (hier 57). Dit zijn grote dozen en als elk gezien deze zou aankopen, kan de winkel dit niet stockeren. Dit moet dus meerdere keren per week worden aangevuld. Dit moet eerst geleverd worden en nadien verkocht. Deze worden ook vaak geleverd op het moment dat ze in de winkel moeten komen, ook door de beperkte stockage. Ook de productie is zeer laste minute, door de beperkte stockage. Dit is het "zweeps slag effect": dit is een kleine verandering aan een uiteinde van de keten, die een piek kan doen ontstaan aan het andere uiteinde van de keten.

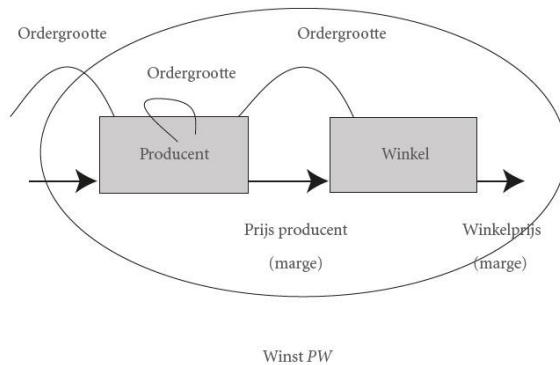
Hetzelfde bij Covid vaccins: welk type virus zal het worden? Mensen dachten dat er een te kort in vaccins ging zijn, en mensen wouden snel een afspraak maken een vaccin te gaan halen. Hierbij kwam het gedacht van een tekort bij de huisartsen naar boven. Hierbij gingen deze ook meer bestellen, waarbij ze ook gingen overshooten om zichzelf in te dekken bij tekorten. Hetzelfde gebeurt bij de distributeur, etc. De producent krijgt hierbij een enorme vraag, waarbij de productie enorm werd opgevoerd, terwijl dit niet nodig was (door middel van de informatiestromen die enorme impact gaf).



Figuur 34: Een 'ongecoördineerde' supply chain

2 aparte spelers die apart genereren en niet coördineren. De producent en de winkel doen beiden hun eigen gedacht.





Figuur 35: Een gecoördineerde supply chain

Hier coördineren ze wel, in ordergrootte. Als ze samen werken, bv autoproducent zijn en ook eigenaar zijn van het dealernetwerk. We kijken naar de ordergrootte om het profijt te analyseren.

- Supply chain gain = winstgecoördineerd - winstongecoördineerd
- Contract nodig om gecoördineerde winst na te streven
  - o Kortingen op de ordergrootte om de klant over de streep te trekken een bepaalde hoeveelheid ordergrootte te bestellen
  - o Kortingen op het volume

### Kortingen op de ordergrootte

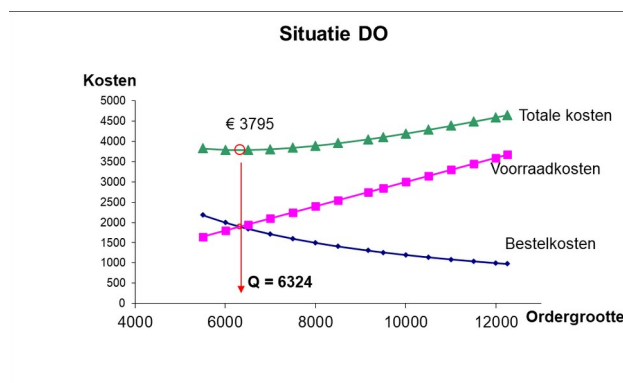
De vraag in de winkel van Drugs Online (DO) bedraagt 120 000 stuks per jaar. DO heeft een bestelkost  $C_o$  van 100 euro (plaatsen van een order, transport, ontvangst,...). De aankoopprijs bedraagt  $CP = 3$  euro per verpakking. De voorraadkosten bedragen 20% van de aankoopprijs, dus  $C_h = 0,6$  euro per eenheid per jaar. → kunnen we het EOQ model gebruiken om het voordeel van coördinatie uit te leggen?

De optimale bestelhoeveelheid voor DO (en de bijhorende totale kosten): typ

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_h}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 120000 \cdot 100}{0,6}} = 6324$$

$$TC(EOQ) = \frac{D}{Q} C_o + \frac{Q}{2} C_h = \frac{120000}{6324} 100 + \frac{6324}{2} 0,6 = 3795$$

Als winkel is het dus het voordeligste om 3795 te bestellen.



Als ze samenwerken hebben ze profijt, maar een deel van deze profijt zal naar de korting moeten gaan die de leverancier aan de klant zal geven.

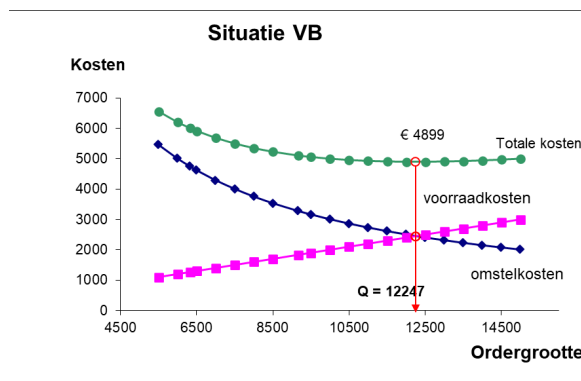
De situatie bij VB ligt anders. Deze producent heeft een lijn die de koekjesdozen vult en verpakt en een label aanbrengt. De omstelkosten bedragen 250 euro. De productiekostprijs is 2 euro. Het voorraadkostenpercentage is 20%.

Voor VB is de optimale productiehoeveelheid (en bijhorende kosten):

$$EOQ_{VB} = \sqrt{\frac{2 \cdot 120000 \cdot 250}{0,4}} = 12247$$

$$TC(EOQ_{VB}) = \frac{120000}{12247} 250 + \frac{12247}{2} 0,4 = 4899$$

Als de producent zijn ding mag doen, zal de optimale hoeveelheid verschillen van de bestelgrootte van de winkel.



=> Ordergrootteconflict tussen DO en VB

Optie 1: DO legt de eigen ordergrootte op aan de producent

$TK_{SC}(6324) = € 9804$ ;  $TK_{DO}(6324) = € 3795$  en  $TK_{VB}(6324) = € 6009$

Optie 2: VB legt de eigen ordergrootte op aan winkel DO

$TK_{SC}(12.247) = € 9553$ ;  $TK_{DO}(12.247) = € 4654$  en  $TK_{VB}(12.247) = € 4899$

Optie 3: Coördinatie van de ordergrootte

=> Minimaliseer de totale kost van de supply chain (SC), zijnde de som van de kosten van de producent (P) en de winkel (W)

Optie 1: de winkel kiest de bestelgrootte en de producent zit duurder.

Optie 2: de producent kiest de bestelgrootte en de winkel zit duurder.

→ Optie 3: als ze samenwerken, zullen ze de som van de kosten van de supply chain minimaliseren

### Kortingen op de ordergrootte

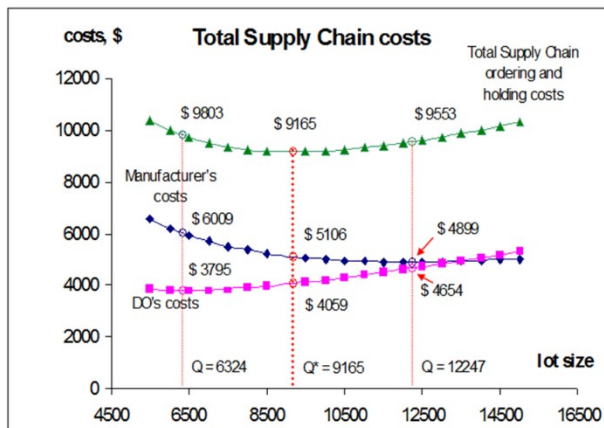
$$TK_{SC} = \frac{D}{Q} C_{o,W} + \frac{Q}{2} C_{h,W} + \frac{D}{Q} C_{o,P} + \frac{Q}{2} C_{h,P}$$

$$EOQ_{SC} = Q^* = \sqrt{\frac{2 \times D \times (C_{o,W} + C_{o,P})}{(C_{h,P} + C_{h,W})}} = 9165$$

$TK_{SC}(9165) = € 9165$ ;  $TK_{DO}(9165) = € 4059$  en  $TK_{VB}(9165) = € 5106$

De bestelkost en voorraad kost tellen we op voor leverancier en winkel. Dit geeft een waarde tussenin die voor beide gezamenlijk de goedkoopste manier van werken is. Hier zullen ze de goedkoopste versie nemen van de totale kosten voor

zowel producent als winkel. Het verschil hierin is de coördinatiepremie.



- Hoe DO motiveren om de voorgestelde oplossing te volgen?
  - o Verdelen van de meerwaarde (transfer payment)
- Bestelkosten DO dalen:  $(120000/6324) \cdot 100 - (120000/9165) \cdot 100 = 589$  (blauwe lijn)
- Voorraadkosten DO stijgen:  $(9165/2 \cdot 0,6) - (6324/2 \cdot 0,6) = 853$  (roze lijn: je moet meer op stock houden dus deze kosten gaan omhoog)
- Reductie in materiaalkosten van 264 euro nodig zodat DO indifferent is tussen de loten van 6324 en 9165.
- $(120000 \cdot 3) - (120000 \cdot \text{nieuwe prijs}) = 264$  (cfr.  $4059 - 3795$ ) → De nieuwe prijs is dan €2,9978.
- Hoe zit het met VB? Na korting wordt het 9165 in plaats van 6324
- Besparing producent VB:  $[(120000/6324) \cdot 250 + (6324/2) \cdot 0,4] - [(120000/9165) \cdot 250 + (9165/2) \cdot 0,4] = 902 \rightarrow 902 \approx 6009 - 5106$
- Opsplitsing 902:
  - o 264 voor DO (op bases van de korting)
  - o 638 te verdelen == de supply chain gain
- Supply Chain gain nog verder te verdelen: transfer payment van VB naar DO

### Kortingen op het volume

Nu veronderstellen we dat de prijs die DO kiest, de vraag beïnvloedt.

Stel: *rekenvoorbeeld gewoon als illustratie*

- Vraagfunctie DO:  $360000 - 60000p$  met  $p$  de prijs
- Productiekostprijs per eenheid ( $C_p$ ): € 2
- Verkoopprijs van de producent aan DO ( $C_r$ ): € 4
- Winstmaximalisatie

Ongecoördineerde oplossing: apart keuzes maken

Elke speler bepaalt de prijs onafhankelijk van de andere. (*deze berekeningen nooit gevraagd op examen*)

- Voor VB ( $C_p=2$ , de producent moet 2 euro aan grondstoffen betalen) (vraagcurve producent):

$\frac{d}{dC_r}((360000-60000 C_r) C_r - C_p * (360000 - 60000 C_r)) = 0 \Rightarrow C_r = 4 \rightarrow$  prijs die de producent aan de winkel moet vragen

- Voor DO (vraagcurve winkel):

$\frac{d}{dp}((360000-60000 p) p - 4 * (360000 - 60000 p)) = 0 \Rightarrow p = 5 \rightarrow$  prijs die de winkel aan zijn klanten moet gaan vragen.

- Sequentieel process  $\rightarrow$  De marktvraag is:  $360000 - (60000 * 5) = 60000$  eenheden, dit geeft ook een overall grotere winst

Winstverdeling:

- Winst DO:  $60000 * (5 - 4) = \text{€ } 60000$  (winkel)
- Winst producent:  $60000 * (4 - 2) = \text{€ } 120000$  (producent)
- Totale winst:  $\text{€ } 180000$

Gecoördineerde oplossing: samen keuzes maken

- Supply chain:  $\frac{d}{dp}((360000-60000 p) p - 2 * (360000 - 60000 p)) = 0 \Rightarrow p = 4$
- De marktvraag is:  $360000 - (60000 * 4) = 120000$  eenheden
- Supply chain winst:  $120000 * (4 - 2) = \text{€ } 240\,000$
- Dit is  $\text{€ } 60000$  meer dan de ongecoördineerde oplossing. Dit is door double marginalisation. Er worden twee opeenvolgende markups toegepast.
- De volledige winst gaat nu naar de producent en dit is dus onaanvaardbaar voor DO (voor DO: aankoopprijs = verkoopprijs =  $\text{€ } 4$ ).
- We voeren een volumekorting in. De producent moet een prijs  $C_r$  vinden zodanig dat de winst voor DO niet onder  $60000$  valt en we toch het volume van  $120000$  eenheden (marktvraag) halen. Dus:  
 $(360000 - 60000 p) p - (360000 - 60000 p) * C_r = 60000$  met  $p = \text{€ } 4$
- Hieruit volgt:  $C_r = \text{€ } 3,5$
- Winstverdeling:
  - o Winst DO:  $120000 * (4 - 3,5) = \text{€ } 60000$
  - o Winst producent:  $120000 * (3,5 - 2) = \text{€ } 180000$
  - o Totale winst:  $\text{€ } 240000 \rightarrow$  dus meer winst ten opzichte van wanneer iedereen aparte prijssetting beslissingen neemt.

## 5.2 Het zweepslag- of bullwhip-effect in supply chains

“Het fenomeen waarbij de bestellingen naar de leverancier een grotere variantie hebben dan de verkopen aan de consumenten, deze variantie wordt versterkt naarmate men meer in de richting van het begin (upstream) van de supply chain komt (Lee et al., 1997a).

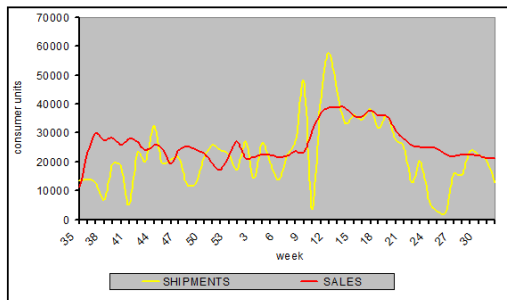


Als de golf regelmatig is, kan je deze golf ook temperen met een tegengolf, zodat

het een vlakke golf zou geven. Hatching = je indekken tegen onzekerheden = afvlakkingspolitieken (volgend puntje)

Beheersing van Bullwhip:

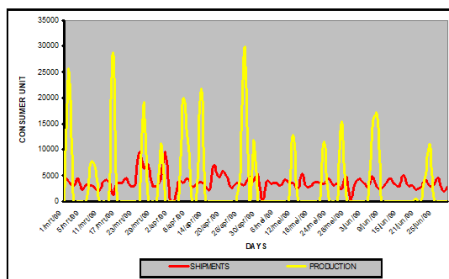
- Reduceren van doorlooptijden, verbeterde informatieverwerking, informatiedeling, het gebruik van point-of-sale gegevens, vermijden van verstoringen in de vraag → coördineren door samen op dezelfde lot-size te werken.
- Uitschakelen van tussenpersonen in de keten (direct sales)



CV sales = 0.23

CV shipments = 0.52

**Other figure than handbook:** *niet op in gegaan*



CV shipments = 0.43 (0.55)

CV production = 2.17 (1.02)

## Oorzaken

- Demand signal processing:
  - o Voorraadpolitiek aanpassen zodat je pieken gaat vermijden
- Batching:
  - o Weekend shopping (pampers)
- Prijsschommelingen:
  - o Forward buying
  - o Postponed buying
  - o Stookolie: meer als het koud is dus prijzen zullen omhoog gaan
- Shortage gaming:
  - o Pandemic (flu)
- Gedragsoorzaken:
  - o Risk behavior: indekken tegen onzekerheid
  - o Visibility
  - o Complex

## Demand-signal-processing

*Niet gedaan – tot het einde van de slides*

Stel:

- Herzieningsperiode  $T = 1$  periode
- Overbrugginstijd  $L = 2$  perioden
- Normale verdeling van de vraag; gemiddelde van 100 en variantie van 25 per periode
- Recupereerbare verkopen
- CSL van 98% ( $z=2,05$ )

Het aanvulniveau  $M$  kan dan als volgt bepaald worden:

$$\overline{DDTL} = 3 * 100 = 300$$

$$\sigma_{DDTL} = \sqrt{3 * 25} = 8,66$$

$$M = 300 + (2,05 * 8,66) = 317,75 \approx 318$$

### Demand-signal-processing: simulatie over 14 perioden

Period	Receive	Demand	Net stock	Pipeline inventory	Demand forecast	Order-up-to-level	Order quantity	Inventory costs	Switching costs
			18		100,00		100	9,00	
1	100	96	22	200	100,00	318,00	96	11,00	8,00
2	100	98	24	196	100,00	318,00	98	12,00	4,00
3	100	105	19	194	100,00	318,00	105	9,50	14,00
4	96	99	16	203	100,00	318,00	99	8,00	12,00
5	98	90	24	204	100,00	318,00	90	12,00	18,00
6	105	101	28	189	100,00	318,00	101	14,00	22,00

Period	Receive	Demand	Net stock	Pipeline inventory	Demand forecast	Order-up-to-level	Order quantity	Inventory costs	Switching costs
7	99	101	26	191	100,00	318,00	101	13,00	0,00
8	90	96	20	202	100,00	318,00	96	10,00	10,00
9	101	102	19	197	100,00	318,00	102	9,50	12,00
10	101	106	14	198	100,00	318,00	106	7,00	8,00
11	96	99	11	208	100,00	318,00	99	5,50	14,00
12	102	94	19	205	100,00	318,00	94	9,50	10,00
13	106	97	28	193	100,00	318,00	97	14,00	6,00
14	99	108	19	191	100,00	318,00	108	9,50	22,00

Tabel 9: Simulatie van voorraadmodel met vast bestelinterval ( $T = 1$ )

We definiëren nu bullwhip als volgt:  $\frac{Var(\text{orders})}{Var(\text{vraag})} = 1$

Er is dus geen versterkend effect. De bullwhip is gelijk aan 1. Bestel wat er gevraagd werd.

Demand signal processing: Aanvulniveau  $M$  in elke periode aanpassen op basis van de meest recent wijzigingen in de vraag:  $M_t = M_{t-1} + \chi(D_t - D_{t-1})$  met  $\chi$  een waarde tussen 0 en 1

Period	Receive	Demand	Net stock	Pipeline inventory	Demand forecast	Order-up-to-level	Order quantity	Inventory costs	Switching costs
			18		NA		100	9,00	
1	100	100	18	200	NA	318,00	100	9,00	0,00
2	100	99	19	200	NA	317,50	99	9,50	2,00
3	100	105	14	199	NA	320,50	108	7,00	18,00
4	100	110	4	207	NA	323,00	112	2,00	8,00
5	99	90	13	220	NA	313,00	80	6,50	64,00
6	108	107	14	192	NA	321,50	116	7,00	72,00
7	112	112	14	196	NA	324,00	114	7,00	4,00
8	80	96	-2	230	NA	316,00	88	40,00	52,00
9	116	101	13	202	NA	318,50	104	6,50	32,00
10	114	102	25	192	NA	319,00	102	12,50	4,00
11	88	93	20	206	NA	314,50	89	10,00	26,00
12	104	100	24	191	NA	318,00	103	13,00	38,00
13	102	102	24	192	NA	319,00	103	13,00	38,00
14	89	109	4	206	NA	322,50	113	2,00	20,00

$$M_t = M_{t-1} + \chi(D_t - D_{t-1})$$

Tabel 10: Simulatie van voorraadmodel met vast bestelinterval en demand signal processing ( $\chi = 0,5$ )

KU LEUVEN

→ Bullwhip-effect:  $\frac{\text{Var}(\text{orders})}{\text{Var}(\text{vraag})} \geq 1$

## Inspelen via voortschrijdend gemiddelde (moving average)

m meest recente vraagobservaties

$$\hat{D}_t = \frac{(D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots)}{m}$$

Bvb, stel dat de vraag in voorbije 4 perioden gelijk was aan 100, 100, 100 en 150. Het gemiddelde over de voorbije 4 perioden om te gebruiken als voorspelling van de vraag voor de volgende periode is dan gelijk aan 112,5.

De nieuwe voorspelling zal dan gebruikt worden om het aanvulniveau te berekenen:  $M_t = (T + L) * \hat{D}_t + VV$

## Inspelen via voortschrijdend gemiddelde: simulatie

Period	Receive	Demand	Net stock	Pipeline inventory	Demand forecast	Order-up-to-level	Order quantity	Inventory costs	switching costs
			18		100,00		100	9,00	
1	100	101	17	200	100,25	318,75	102	8,50	4,00
2	100	100	17	202	100,25	318,75	100	8,50	4,00
3	100	91	26	202	98,00	312,00	84	13,00	32,00
4	102	96	32	184	97,00	309,00	93	16,00	18,00
5	100	104	28	177	97,75	311,25	106	14,00	26,00

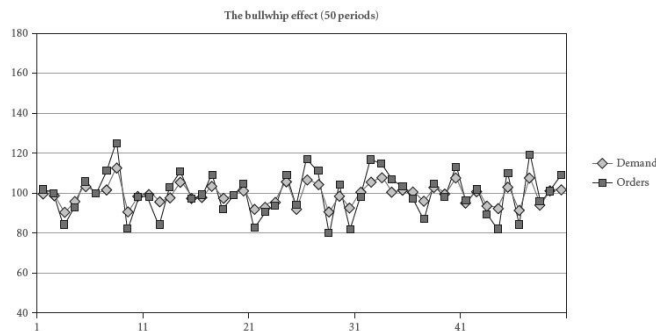
$$\hat{D}_t = \frac{(D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots)}{m} = (101 + 100 + 91 + 96) / 4 = 97$$

$$M_t = (T + L) * \hat{D}_t + VV = (1 + 2) * 97 + 17,75 = 308,75 \rightarrow 309$$

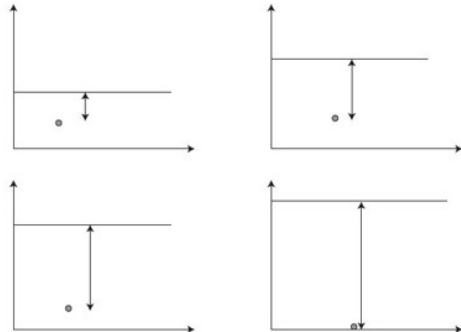


Period	Receive	Demand	Net stock	Pipeline inventory	Demand forecast	Order-up-to-level	Order quantity	Inventory costs	switching costs
6	84	100	12	199	97,75	311,25	100	6,00	12,00
7	93	102	3	206	100,50	319,50	111	1,50	22,00
8	106	113	-4	211	104,75	332,25	125	80,00	28,00
9	100	91	5	236	101,50	322,50	82	2,50	86,00
10	111	99	17	207	101,25	321,75	98	8,50	32,00
11	125	100	42	180	100,75	320,25	98	21,00	0,00
12	82	96	28	196	96,50	307,50	84	14,00	28,00
13	98	98	28	182	98,25	312,75	103	14,00	38,00
14	98	106	20	187	100,00	318,00	111	10,00	16,00

Tabel 11: Simulatie van voorraadmodel met vast bestelinterval en voorspelling van de vraag aan de hand van het voortschrijdend gemiddelde ( $m = 4$ )



Figuur 39: Het bullwhip-effect wanneer de vraag wordt voorspeld aan de hand van het voortschrijdend gemiddelde



Figuur 40: Het ontstaan van het zweeps slag-effect door het aanpassen van het aanvulniveau

$D \uparrow \rightarrow M \uparrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow (M-I) \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow D \uparrow \rightarrow M \uparrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow (M-I) \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow$

### 5.3 Afvlakkingspolitiek, periodiek herzieningsmodel

- In plaats van  $M$  voortduren aan te passen, verhoog  $M$
- Beste slechts een fractie  $\beta$  van het voorraadtekort (verschil tussen aanvulniveau  $M$  en voorraadpositie  $I$ ):  $Q = \beta * (M - I)$
- Bij  $\beta < 1$  zullen de schommelingen kleiner zijn dan de schommelingen in de vraag, dus geen bullwhip.  $\rightarrow$  Cfr cruise control, douche kraan



## Simulatie over 14 perioden

$$Q = \beta * (M - I)$$

$$98 = 0,5 * (418 - 17 - 102 - 103)$$

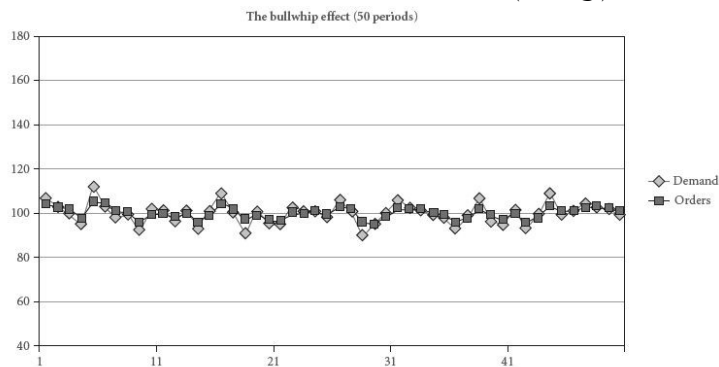
Period	Receive	Demand	NS	WIP	Demand forecast	OUT-level	Order	Inventory costs	Switching costs
			18		100,00		100	9,00	
1	100	107	11	200	100,00	NA	104	5,50	8,00
2	100	103	8	204	100,00	NA	103	4,00	2,00
3	100	100	8	207	100,00	NA	102	4,00	2,00
4	104	95	17	205	100,00	NA	98	8,50	8,00
5	103	112	8	200	100,00	NA	105	4,00	14,00
6	102	103	7	203	100,00	NA	104	3,50	2,00
7	98	98	7	209	100,00	NA	101	3,50	6,00

new M = 418

Period	Receive	Demand	NS	WIP	Demand forecast	OUT-level	Order	Inventory costs	Switching costs
8	105	99	13	205	100,00	NA	100	6,50	2,00
9	104	92	25	201	100,00	NA	96	12,50	8,00
10	101	102	24	196	100,00	NA	99	12,00	6,00
11	100	101	23	195	100,00	NA	100	11,50	2,00
12	96	96	23	199	100,00	NA	98	11,50	4,00
13	99	101	21	198	100,00	NA	100	10,50	4,00
14	100	93	28	198	100,00	NA	96	14,00	8,00

Tabel 12: Simulatie van afvlakingspolitiek met  $\beta = 0,5$

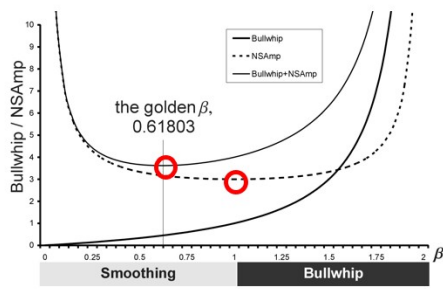
Afvlakking van de fluctuaties:  $\frac{Var(orders)}{Var(vraag)} \leq 1$



Figuur 41: Afvlakking van de bestellingen met  $\beta = 0,5$

Afvlakingspolitiek zal de variabiliteit van de voorraad doen toenemen, deze vangt de schommelingen op. De keerzijde van afvlakking is meer veiligheidsvoorraad = the prijs van bullwhip.

- Bullwhip =  $\frac{Var(orders)}{Var(vraag)}$
- Net stock amplification:  $NSAmp = \frac{Var(netstock)}{Var(vraag)}$



Tot hier niet kennen

## Deel III: Materiaalbehoefteplanning

Eerste deel gemist

### 1. Inleiding

- Afhankelijke vs onafhankelijke vraag

Afhankelijke vraag nodig

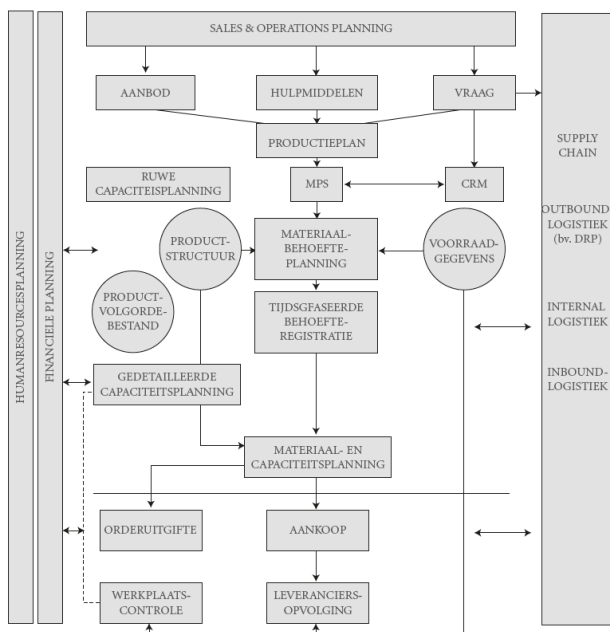
Onafhankelijke vraag was bij de voorgaande lessen

→ Soms kan het gemengd zijn: bv restaurant waarbij klanten komen waarbij je weet wat ze gaan nemen (afhankelijke vraag) en sommige waarvan je het niet weet (onafhankelijke vraag)

- Modulaire opbouw
- Strategisch, tactisch en operationeel gedeelte
- Capaciteitsplanning: meer wachttijd inbedden bv, zit niet in MRP
- Outbound, inbound en internal logistiek

Inbound is alles voor je begint

Intern heb je ook logistiek, alle operaties waar je verantwoordelijk voor bent



Figuur 1: Modules van een MRP- of ERP-systeem

Schema dat alle processen aan elkaar plakt, nu niet uitgelegd. Doorheen het hoofdstuk gaan we alles zien. Vandaag beginnen we met de materiaalbehoefte planning (in het midden). Onderaan zijn de orderuitgiften (doen we zelf) en de aankoop (doen we niet zelf). Daarboven de relatie met sales: hoe spelen we in op de pieken in verkoop, dit is de input van de materialen die we moeten gaan aankopen.

### 2. Materiaalbehoefteplanning

**2.1 De MRP-registraties (roosters):** Hoeveel heb je nodig voor bv alle dagen dat een restaurant open is?

- Voorraadgegevens: van alle componenten de voorraad gegevens bekrijgen, wat ze momenteel in stock is. Heb je er genoeg of moet je er bij kopen/maken? Lastig up to date te blijven.
- Behoeftgegevens (vraag): welke zaken komen er af op welke periode? Dit is de afhankelijke vraag die we nodig hebben.
- Overbruggingstijd (lead time): alle onderdelen hebben een overbruggingstijd. Dit kan heel kort zijn maar meestal zit hier een realistische lead time in.
- Lotgrootte: ze zullen 1 keer de lotgrootte bestellen. Bijvoorbeeld een ordergrootte van 1 is 1 per 1 bij bv auto-onderdelen, maar een ander voorbeeld kan je dan weer in grotere hoeveelheid aankopen zoals vijzen. → dynamische/deterministische modellen zullen dynamisch zijn maar niet meer veranderen over de tijd.
- Tijdsgephaseerde registratie
  - o Time bucket: de planningshorizon zullen ze onderverdelen in verschillende delen zoals een planning op te delen in dagen (time buckets)
  - o Totale planningshorizon: deze is dus opgedeeld in stukjes – de lead time is dus onderverdeeld in verschillende time buckets.

### Basis-MRP-registratie

Periode	0	1	2	3	4	5
Brutobehoeften			10		40	10
Geplande ontvangsten		50				
Te plannen orderontvangsten						50
Geprojecteerd beschikbaar	4	54	44	44	4	44
Te plannen orderuitgifte					50	

De periode is de horizon, hier een horizon van 5 buckets (5 dagen/5 weken/etc). Het cijfer 0 is hier het huidige moment. Dit kan een eindproduct zijn, of een onderdeel die hier beschreven wordt per fishe. Per materiaal dat je nodig hebt, heb je zo een opgave. Alle cijfers slaan op het begin van de bucket, behalve de beschikbaarheid die aan het eind van de bucket zijn.

De brutobehoeft geeft weer hoeveel je bruto nodig hebt. De geplande ontvangsten zijn de beslissingen die genomen zijn in de voorgaande periode. Deze bestellingen zitten in de pipeline en zullen binnenkomen in diezelfde periode. Dit is altijd gegeven op basis van het verleden. Dit kan echter wel aangepast worden bij enige problemen. De plannen orderuitgifte zijn de uitgften die we gaan doen, maar hier moeten we nog iets voor doen (productie, bestellen, etc).

Voor de eenvoud mogen we hier niet onder 0 gaan, en we moeten per 50 bestellen in dit voorbeeld. Hierbij moet je dus zien alsof er 50 bijkomen in periode 5. Deze moet 1 periode op voorhand ingepland worden (de 50 in periode 4). Hierbij heb je ervoor gezorgd dat de beschikbaarheid nooit onder 0 komt.

### Te Plannen Orderuitgifte

- EOQ
- Lot-for-lot

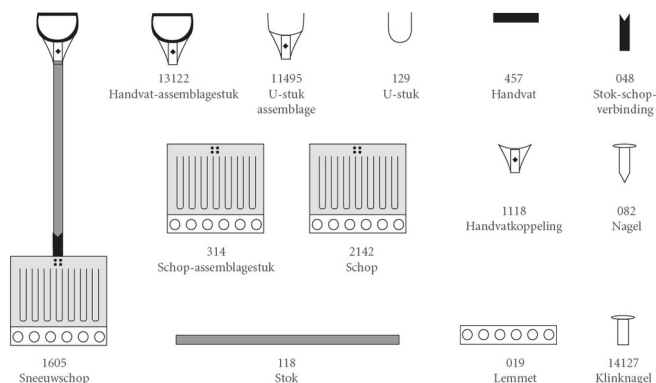
- POQ
- Least unit cost
- Least total cost
- Part period balancing
- Silver-Meal heuristiek
- Wagner-Whitin algoritme

Al deze elemente zijn hier ook weer van kracht.

## 2.2 De verwerkingslogica in een MRP-systeem

- Bill Of Material (BOM): je hebt een ouder en onder de ouder hangen kinderen die nodig zijn om de ouders te assembleren bv voor gekookte spaghetti heb je spaghetti nodig en kokend water. Hierbij hebben ouders ook ouders en kom je tot een hele stamboom.
  - o Parent/Component relatie
  - o Unieke identificatie: je wilt alles in 1 keer inplannen en aankopen dus overall een unieke identificatie per element toekennen en overall waar dit aan bod komt moet dit element besteld worden.
- Link tussen
  - o Parent: 'te plannen orderuitgifte'
  - o Component: brutobehoeften
- Explosie-principe: het onderste element in de tabel is het bovenste element in de kinder tabel, en dit gaat ver door.

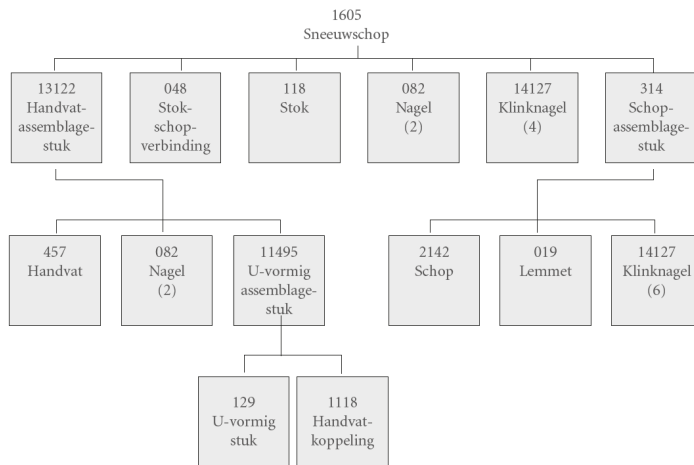
### Samenstellende delen van de sneeuwshop



Figuur 2: Samenstellende delen van de sneeuwshop

Elk onderdeel, elke subassemblage hebben allemaal een uniek nummer. Bv het shop assemblage stuk heeft een eigen identificatie en bestaat uit een schop, lemmet en klinknagels die zelf ook een unieke identificatie hebben.

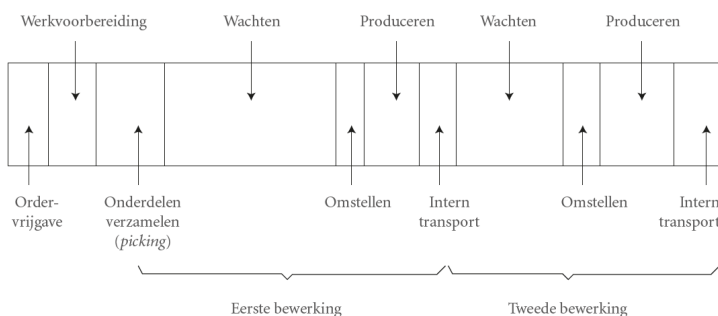
## Bill of material



Figuur 3: Bill of material van de sneeuwschop

Bovenaan de sneeuwshop die besteld wordt. Dit is dus de afhankelijke vraag die we gaan berekenen (je weet wat je moet doen want je weet hoeveel schoppen er besteld zijn). De lead time is vaak erg opgeblazen, omdat alles er in moet zitten (aankoop, aanmaak, fouten, alles wordt in rekening gebracht). Hier duurt het dan een week. Je moet beginnen met de aparte onderdelen die je moet bestellen en ontvangen, en nadien kan je gaan assembleren.

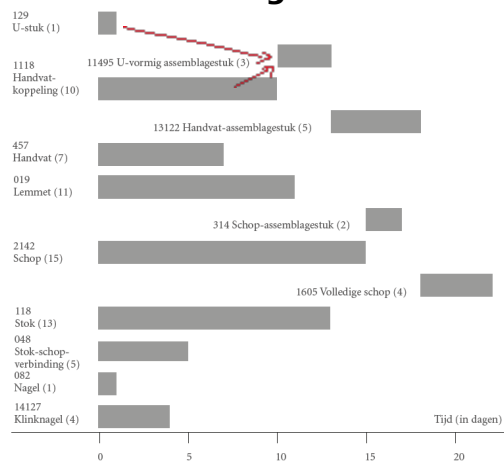
## Samenstelling van de overbruggingstijd



Figuur 4: Samenstelling van de overbruggingstijd

Hier een voorbeeld van de overbruggingstijd.

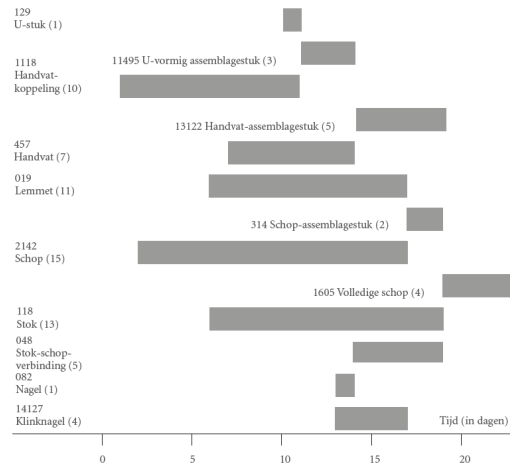
## Front scheduling-methode



Figuur 5: Gantt-grafiek van de front-schedulingmethode

Je weet wat je moet doen, je kan overal waar je weet dat je aan moet beginnen dadelijk beginnen. Op tijdstip 0 ga je dus beginnen met elke taak die geen voorstander heeft, met bijhorende tijd. Als er enkele zaken klaar zijn (toegekomen of aangemaakt), kan je pas aan de tussenproducten beginnen (zie rode pijlen). Hierbij is de kans dat elementen te laat gaan zijn zeer klein, want je begint met alles zo snel mogelijk. Hierbij heb je wel enkele tijden stock.

## Backward scheduling-methode



Figuur 6: Gantt-grafiek van de backward scheduling-methode

Je kan ook terugrekenen en alles op het laatst mogelijke moment beginnen. Hier zitten wel enkele kritieke tijden in. Deze tijd is hetzelfde als je voorwaarts plant. Hier heb je normaal geen stock, omdat je besteld op basis van de tijd dat je gaat assembleren. MRP doet deze versie, de backward versie.

## Bruto-naar-netto-explosieproces

- Sneeuwschop (1605)
- Overbruggingstijd: 1 week

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Brutobehoeften	-	-	20	-	10	-	20	5	-	35	10	
Geplande ontvangsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	20	-	10	-	20	5	-	35	10	-

In begin van periode 3 moet je 20 sneeuwschoppen hebben, en je moet zorgen dat die klaar zijn tegen dan. Door de backwards scheduling, heb je nooit iets in stock. Je gaat een week op voorhand bestellen omdat je hierbij je lead time in acht neemt en de tijd tot assemblage.

- Handvatassemblagestuk (13122)
- Overbruggingstijd: 2

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	20	-	10	-	20	5	-	35	10	
Geplande ontvangsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	25	25	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	5	-	20	5	-	35	10	-	-

De eerste relatie was 1 op 1 dus heb je 1 stuk nodig voor 1 schop. Hier had je er 20 op stock, had je er 20 nodig dus hield je er 5 over. In periode 4 heb je er 10 nodig, heb je er nog 5 in stock dus ga je er nog 5 bij bestellen 2 weken voordien (de lead time). Zelfde voor alle andere brutobehoeften, maar dan met geprojecteerde beschikbaarheid van 0.

- Handvat (457)
- Overbruggingstijd: 2

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften		-	5	-	20	5	-	35	10	-	-
Geplande ontvangsten		-	-	25	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	22	22	17	42	22	17	17	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	-	18	10	-	-	-	-

- Nagel (082)
- Overbruggingstijd: 1, lotgrootte: 50

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften		-	10	-	40	10	-	70	20	-	-
Geplande ontvangsten		50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	4	54	44	44	4	44	44	24	4	4	4
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	50	-	50	-	-	-	-

Hier hebben we 2 nagels nodig per schop, dus moeten we maal 2 doen. De lotgrootte is 50 dus een week op voorhand gaan we er 50 bestellen.

- U-stuk assemblage (11495)
- Overbruggingstijd: 2

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften		-	5	-	20	5	-	35	10	-	-
Geplande ontvangsten		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	27	27	22	22	2	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	3	-	35	10	-	-	-	-

- U-stuk (129)
- Overbruggingstijd: 1

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften		-	-	3	-	35	10	-	-	-	-
Geplande ontvangsten		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	15	15	15	12	12	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	23	10	-	-	-	-	-

- Handvatkoppeling (1118)
- Overbruggingstijd: 3, veiligheidsvoorraad: 20



Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	3	-	35	10	-	-	-	-	-
Geplande ontvangsten	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	39	39	54	51	51	20	20	20	20	20	20
Te plannen orderuitgifte	-	-	4	10	-	-	-	-	-	-	-

Hier moet je een veiligheidsstock bij voorzien. Bij alle voorgaande tabellen hebben we besteld om niet onder 0 te gaan, maar hier moeten we bestellen om niet onder de veiligheidsstock te gaan (20). Los van de afhankelijke vraag kunnen er dus dingen bij komen.

Sneeuwschop (1605) (Overbruggingstijd = 1 week)

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bruto-behoeften	-	-	20	-	10	-	20	5	-	35	10	-
Geplande ontvangsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	20	-	10	-	20	5	-	35	10	0

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bruto-behoeften	-	20	-	10	-	20	5	-	35	10	-
Geplande ontvangsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	25	25	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	5	-	20	5	-	35	10	-	-	-

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bruto-behoeften	-	5	-	20	5	-	35	10	-	-	-
Geplande ontvangsten	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	22	22	17	42	22	17	17	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	18	10	-	-	-	-	-

Nagel (082) (Overbruggingstijd = 1, lotgrootte = 50)

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bruto-behoeften	-	10	-	40	10	-	70	20	-	-	-
Geplande ontvangsten	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	4	54	44	44	4	44	44	24	4	4	4
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	50	-	50	-	-	-	-

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bruto-behoeften	5	-	20	5	-	35	10	-	-	-	-
Geplande ontvangsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	27	27	22	22	2	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	3	-	35	10	-	-	-	-	-

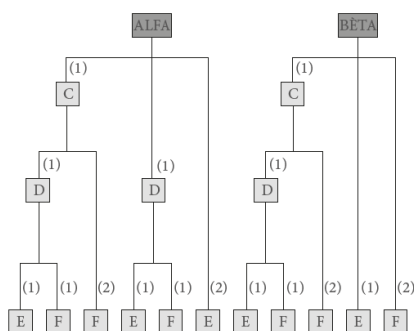
  

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bruto-behoeften	-	3	-	35	10	-	-	-	-	-	-
Geplande ontvangsten	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	39	39	54	51	51	20	20	20	20	20	20
Te plannen orderuitgifte	-	4	10	-	-	-	-	-	-	-	-

Hier zie je de vertaling van bruto naar netto, waarbij je wel moet vermenigvuldigen met de hoeveelheid kinderen dat je nodig hebt om een ouder te maken.

- Cumulatieve overbruggingstijd
- Gemeenschappelijk gebruik van componenten

## Low-level coding voor Alfa en Bèta



Figuur 7: Productstructuren voor Alfa en Bèta

Low level coding: links is C een gemeenschappelijke component en ALFA en BETA bestaan uit een D, E en F. Dit zijn dus varianten van eenzelfde product met andere elementen. Als je E wilt doorlopen in de tabel wil je dus alle data daarvoor hebben. Je moet dus berekenen per element. Je laat dus alles zakken tot elke component op hetzelfde niveau verschijnt, dit is low level coding. Je hebt dus 1 niveau waar alle C's staan, 1 niveau waar alle D's staan etc. ALFA en BETA zijn de eindproducten.

### Voorbeeld: MRP Inputdata

	Voorraad		Behoeften wk 9		Tijden	
	Begin	Safety	MPS	Externe vraag	Lead time	Safety time
<i>Eindproduct Alfa</i>	50		1250		2 wk	1 wk
<i>Eindproduct Beta</i>	60		460		2 wk	1 wk
<i>Subassembly C</i>	40				1 wk	
<i>Subassembly D</i>	30			270	1 wk	
<i>Component E</i>	30	30		380	1 wk	
<i>Component F</i>	40				1 wk	

Hier de beginvoorraden van elk eindproduct en elk element. Hier hebben we ook safety stock van, maar voor deze elementen hebben we het nergens nodig. MPS is de bestelling die we nodig hebben. We gaan niet voor elke periode een bestelling plaatsen in dit voorbeeld. We hebben ook een externe vraag van elke sub-assembly. Dit kunnen onderdelen zijn voor reparatie, etc. Veiligheidsstock blijft aanwezig, maar veiligheidstijd verdwijnt terug. De tijd is enkel nuttig voor die ene keer. Deze zijn beide elementen om te beschermen tegen onzekere perioden.

- Eindproduct Alfa
- Overbruggingstijd: 2 weken

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	-	-	-	-	-	1250	-
Geprojecteerd beschikbaar	50	50	50	50	50	50	1250	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	1200	-	-	-	-

In periode 6 wil je 1200 stuks beginnen, en een week later komen deze binnen. Je moet deze dus een week op stock houden. De bijkomende stock is slechts kort, de veiligheidstijd.

- Eindproduct Beta
- Overbruggingstijd: 2 weken

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	-	-	-	-	-	460	-
Geprojecteerd beschikbaar	60	60	60	60	60	60	460	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	-	400	-	-	-	-

Nu dezelfde redenering als voor ALFA. Je wilt er in dezelfde periode 400 assembleren, dus je gaat deze beide afhankelijke vragen samen assembleren en hier ga ja dan naar kijken voor de subassembly te berekenen.

- Subassembly C
- Overbruggingstijd: 1 week

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	-	-	1600	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	40	40	40	40	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	1560	-	-	-	-	-

Dit is opgeteld voor ALFA en BETA.

- Subassembly D
- Overbruggingstijd: 1 week

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	0	1560	1200	-	-	270	-
Geprojecteerd beschikbaar	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	1530	1200	-	-	270	-	-

De 1530 komt van C, de 1200 komt van ALFA en de 270 is de externe vraag.

- Component E
- Overbruggingstijd: 1 week, safety stock: 30 eenheden

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	1530	1200	2800	-	270	380	-
Geprojecteerd beschikbaar	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Te plannen orderuitgifte	-	1530	1200	2800	-	270	380	-	-

Elke D heeft 1 E nodig, elke ALFA heeft 2 E's nodig, elke BETA heeft 1 E nodig en elke C heeft 1 E nodig. Even checken waar al deze cijfers vandaan komen: pegging (waar hangt het aan vast, waar komen de cijfers vandaan?). Hierbij is er een safety stock van 30, dus zorgen we dat deze in het systeem blijven.

- Component F
- Overbruggingstijd: 1 week

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Brutobehoeften</u>	-	-	1530	4320	800	-	270	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	40	40	0	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	1490	4320	800	-	270	-	-	-

Zelf deze component checken

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	-	-	-	-	-	1 250	-
Geprojecteerd beschikbaar	50	50	50	50	50	50	1 250	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	1 200	-	-	-	-	-

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	0	1 560	1 200	-	-	270	-
Geprojecteerd beschikbaar	30	30	30	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	1 530	1 200	-	-	270	-	-	-

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	-	-	-	-	-	460	-
Geprojecteerd beschikbaar	60	60	60	60	60	60	460	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	400	-	-	-	-	-

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	-	-	1 600	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	40	40	40	40	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	-	-	-	1 560	-	-	-	-	-

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	1 530	1 200	2 800	-	270	380	-
Geprojecteerd beschikbaar	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Te plannen orderuitgifte	-	1 530	1 200	2 800	-	270	380	-	-

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brutobehoeften	-	-	1 530	4 320	800	-	270	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	40	40	0	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	1 490	4 320	800	-	170	-	-	-	-

## 2.3 Het invoeren van wijzigingen

### Voorbeeld 1: Voorraadtoestand voor de informatie

- Eindproduct
- Overbruggingstijd: 3, lotgrootte: 25

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Brutobehoeften		10	2	-	10	13	-	20	4
Geplande ontvangsten		-	-	23	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	14	4	2	25	15	2	2	7	3
Te plannen orderuitgifte		-	-	-	25	-	-	-	-

### Voorbeeld 1: Herberekening

- Geplande ontvangsten van 23 eenheden worden gereduceerd tot 20 eenheden

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Brutobehoeften		10	2	-	10	13	-	20	4
Geplande ontvangsten		-	-	20	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	14	4	2	22	12	24	24	4	0
Te plannen orderuitgifte		-	25	-	-	-	-	-	-

Fout opgetreden: hier komen er 20 binnen in plaats van 20. Wat is hier de impact van? In periode 6 hebben we er 1 te kort en de ordergrootte was 25, die we dan 4 periodes op voorhand moeten bestellen. Dus dit is de 25 in periode 2. Als dit een eindproduct is en hier hangen nog elementen boven, gaat dit dus wel een explosie geven. Hierdoor is MRP een hectisch systeem. Om hierin tegen te gaan, gaat men de eerste periodes hierin bevriezen.

### Voorbeeld 2: Situatie voor de wijziging

- Product A
- Overbruggingstijd: 2, POQ: 5

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Brutobehoeften		2	24	3	5	1	3	4	50
Geplande ontvangsten		-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	28	26	2	13	8	7	4	0	0
Te plannen orderuitgifte		14	-	-	-	-	50	-	-

Hier gaan we ervan uit dat we 1 product A hebben en 1 kind. Hier hebben we een periodic order quantity) POQ van 5, dus gaan we bij elke bestelling een bestelling plaatsen per 5 periodes. Dit is berekend op basis van voorraadkosten, orderkosten, etc om te zorgen dat we zonder klutskes zitten (zie vorige lessen). In periode 5 hebben we er 1 te kort, waarbij je dan 14 stuks te kort hebt voor de komende 5 periodes. Je gaat dus 1 week op voorhand 14 stuks bestellen. Door de lot size hebben we maar 2 orders.

- Component B
- Overbruggingstijd: 4, POQ: 5

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Brutobehoeften		14	-	-	-	-	50	-	-
Geplande ontvangsten		14	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	2	2	2	2	2	2	0	0	0
Te plannen orderuitgifte		-	48	-	-	-	-	-	-

Hier gaan we kopiëren naar het orderlijn van het onderdeel. De 14 en 50 zijn hierbij de te plannen orderuitgiften van het product. In periode 6 heb je er 48 nodig, en in periode 7 en 8 niets, dus moet je 4 periodes terug 48 onderdelen gaan bestellen.

## Voorbeeld 2: Situatie na de wijziging

- Veronderstel dat de brutobehoeften voor Product A niet 24, maar 23 eenheden zijn
- Product A (overbruggingstijd: 2, POQ: 5)

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<u>Brutobehoeften</u>		2	23	3	5	1	3	4	50
Geplande ontvangsten		-	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	28	26	3	0	58	57	54	50	0
Te plannen orderuitgifte		-	63	-	-	-	-	-	-

Stel, een klant belt af en een bestelling verminderd. Dit maakt eigenlijk het leven voor de organisatie gemakkelijker logistiek gezien, maar wat in werkelijkheid? In periode 4 komen we niet toe, dus gaan we 5 periodes verder tellen wat je nodig hebt, wat komt tot 63. Deze ga je dan 1 periode op voorhand bestellen, wat uitkomt tot 1 order in plaats van 2. Hierbij heb je dus een product minder in de bestelling en een grote verandering.

- Component B (overbruggingstijd: 4, POQ: 5)

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Brutobehoeften		-	63	-	-	-	-	-	-
Geplande ontvangsten		14	-	-	-	-	-	-	-
Geprojecteerd beschikbaar	2	16	-47	0	0	0	0	0	0
Te plannen orderuitgifte	47	-	-	-	-	-	-	-	-

Als je dan kijkt naar de component, zie je dat je negatief uitkomt. Moest je dit in periode 1 bestellen, zou je dat pas 3 periodes later krijgen, waardoor je het tekort dus niet kunt overbruggen. Dit probleem komt eigenlijk door de manier van rekenen in product A, waarbij we de hoeveelheid 50 in periode 8 reeds heel vroeg willen bestellen. Hierbij maakt de MRP dus gekke sprongen, maar in realiteit is er niets aan de hand.

## 2.4 Het systeem en de MRP-planner

### Orderuitgifte

- Ingrijpen van MRP planner beperkt tot:
  - o Uitgeven van orders in de juiste hoeveelheden op juiste tijdstip
    - Actieperiode, krimpfactor (elementen die rekening houden met verlies bv het afval van vlees, dus je gaat je aankoop doen toenemen) – yield factoren in het Engels, beschikbaarheidscontrole, picking lists
  - o Herschikken van de einddata van de openstaande orders

### Voorbeeld: Orderuitgifte en wijzigingen

Beginsituatie:

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Brutobehoeften	30	20	20	0	30	30	0	50	20	40	
Geplande ontvangsten	50										
Geprojecteerd beschikbaar	10	30	10	40	40	10	30	30	30	10	20
Te plannen orderuitgifte	50			50		50		50			

Wijzigingen:

- Bruto(1) = 25      Bruto(2) = 25      Bruto(11) = 20
- Bruto(10) van 40 verplaatst naar periode 9
- Geplande ontvangsten = 45 ipv 50
- Beschikbaarheid = 25 ipv 10

Transactielijst: wat is er allemaal gebeurd, wat is er gewijzigd, etc. Bv de brutobehoeft van periode 2 is veranderd van 20 naar 25.

### Nieuwe registratie

Periode	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Brutobehoeften	25	20	0	30	30	0	50	60	0	20	
Geplande ontvangsten	50										
Geprojecteerd beschikbaar	45	20	50	50	20	40	40	40	30	30	10
Te plannen orderuitgifte			50			50	50				

Dan doe je de berekening opnieuw nadat alles is aangepast. Na de aanpassingen is periode 1 al voorbij, dus de 50 komt dan te staan in te ontvangen 2 periodes

later. Door 1 dag in het systeem verder te gaan, zijn de orders in periode 4, 6 en 8 naar de periode 4, 6 en 7 zijn verschoven. Door al deze aanpassingen de reden dat er vanalles zal bevroren worden.

### 3. Het master production schedule (MPS)

Hier kijken we naar het niveau van het eindproduct dat volledig afgewerkt wordt door de producent en de klant kan dit afgewerkt product kopen. Dit is het MPS niveau. Het MRP model ziet er gelijkaardig uit (zelfde termen etc) maar in een MPS model is er geen lead time (hoeveel tijd je er op voorhand aan moet beginnen of je het moet bestellen in functie van safety stock etc). De time buckets zijn dezelfde, als je MRP laat lopen per maand, zal de MPS dat ook doen. Hier heb je de brutobehoeftes per maand, dit is de brutobehoeftes vanuit de markt.

#### 3.1 Tijdsgephaseerde registratie

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brutobehoeften		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Geprojecteerd beschikbaar	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Te plannen orderuitgifte		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

#### Level production MPS of genivelleerd MPS

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brutobehoeften		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Geprojecteerd beschikbaar	20	25	30	35	40	45	50	45	40	35	30	25	20
Te plannen orderuitgifte		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Level production is de regelmatige productie van een bedrijf. Ze hebben graag vanuit een capaciteitsstandpunt graag dat ze elke maand ongeveer hetzelfde kunnen produceren, in plaats van in een paar maanden alle productie te moeten voorzien. Een bedrijf probeert hier te kiezen voor elke periode evenveel te produceren. Je kan ook kiezen voor een deel te stockeren, zoals bij diensten die mee evalueren met de vraag.

We hebben er 20 in het begin en hebben er 5 nodig, waar ze er 10 maken. Hier heb je een beschikbaarheid van 25 op het einde van periode 0. Hieronder zal een MRP tabel hangen, waar je de lead time wel kan inbrengen, die hier niet bijgevoegd is. Tot periode 6 stijgt de stock, omdat je meer produceert dan dat je er nodig hebt, zodat je in het hoogseizoen de opgebouwde stock terug gaat gebruiken. De totale jaarvraag is 120 (12x10), waarbij je een vaste productie van 10 zal voorzien (enkel mogelijk bij voldoende capaciteit, plaats, stockage kosten, indien niet bederfbaar product).

#### Chase-sales-MPS-schema



Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brutobehoeften		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Geprojecteerd beschikbaar	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Te plannen orderuitgifte		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15

Je kan ook kiezen het omgekeerde te gaan doen, zonder je een stockage hebt. Hierbij moet je de vraag gaan volgen, waarbij je je voorraad constant houdt (chase = najagen van de vraag). Hierbij moet je wel switchen tussen hoge en lage capaciteit, wat kostelijk en lastig kan zijn als ze ineens moeten opschalen. Bv Covid pandemie waarbij we de productie van mondklappers etc gigantisch moesten opdrijven.

Hierdoor proberen veel bedrijven hier een middenweg in te zoeken via gemengde methoden met wiskundige optimalisatie (geen deel van de curcus).

### Ordergroottes in een MPS

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brutobehoeften		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Geprojecteerd beschikbaar	20	15	10	5	30	25	20	5	20	5	20	5	20
Te plannen orderuitgifte					30				30		30		30

Je kan dit ook groeperen, een lot size op toepassen zodat je niet alles opnieuw moet opstarten voor slechts 5 stuks per keer. Dit zit ook in andere takken, maar is gemakkelijker te begrijpen voor producten. We hebben er 20, we hebben er 5 nodig, en zo verder tot periode 4, dan komen we onder de safety stock van 5 dus moet je een nieuw lot laten toekomen. Enzoverder. → in een MPS tabel heb je geen lead time nodig, enkel in een MRP tabel.

### 3.2 MPS-omgevingen

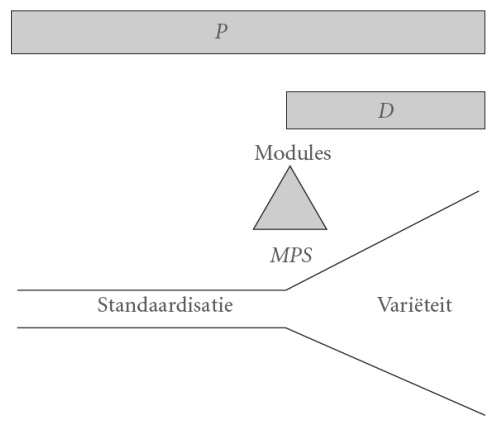
#### Waar passen we MPS op toe?

Make-to-stock: op eindproducten, producten die we volledig op stock maken

- Make-to-order: er zijn ook producten waarbij je deze modules niet kan maken bv bij maatwerk dus deze kunnen enkel de grondstoffen op voorraad houden
- Assemble-to-order: indien niet mogelijk een product op stock te kopen bv een nieuwe wagen/computer die je zelf kan samenstellen → dan moet je de MPS op dat niveau gaan doen, je gaat geen tabel hebben op het eindproduct maar op de modules
- Engineer-to-order: hier kan een bedrijf zelfs niet weten welke grondstoffen ze graag zouden hebben. Hierbij gaan ze eerst onderzoek doen vooraleer ze eraan gaan beginnen

- Ontkoppelpunt: waarbij de klant binnendringt aan het orderproces bv bij cola is dit op basis van het eindproduct – belangrijk dat het stuk voor en na het ontkoppelpunt goed gemanaged wordt
- Delayed product differentiation: het opsplitsen van de verschillende versies van het product gaan we zo lang mogelijk uitstellen, typisch in productie
- Postponement: hetzelfde als delayed product differentiation maar typisch in distributie, dit wordt deze tijd zeer veel gedaan
- Modulaire bill of material: 1 productielijn in functie van kleur bv en deze pas afwerken op het einde

### Modulaire bill of material



Figuur 9: Modulaire bill of material

P = tijd om product te maken

D = delivery time, tijd dat de klant moet wachten om het product te krijgen bv tijd tot je je auto krijgt als deze geassembleerd wordt

Final Assembly Schedule: op het einde worden al die elementen geassembleerd

### Voorbeeld modulaire bill of material

Bv de assemblage en aankoop van een tractor, de verschillende keuzemogelijkheden staan tussen haakjes. Door deze verschillende keuzemogelijkheden heb je een totaal van 1728 mogelijke tractors. Hier ga je per optie een bill of material maken en de module maken: je maakt een motor, een set zetels, etc. Hier hebben we dan een modulaire bill of material die deze gaan samenvoegen.

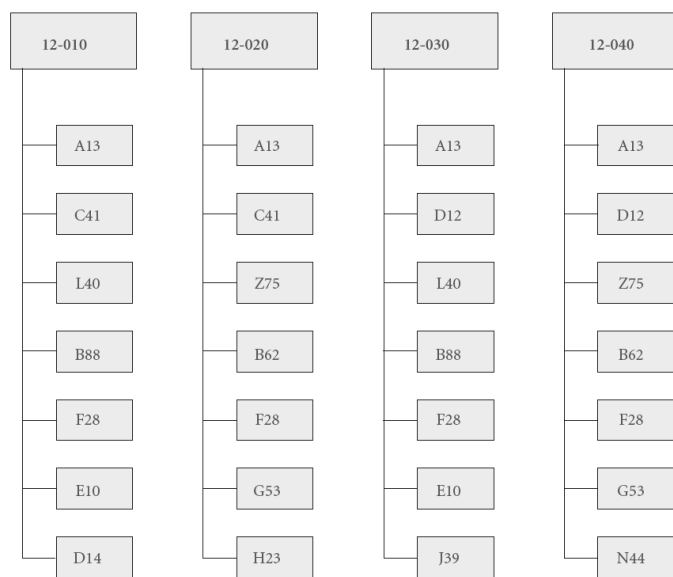
- Wielconstructie (3)
- Brandstof (3)
- Paardenkracht (2)
- Versnellingsbak (2)
- Stuurinrichting (2)
- Tractordifferentieel (2)
- Motorbeveiliging (3)
- Hefinrichting (2)
- Radiatorbescherming (2)
- ➔ 3 x 3 x 2 x 2 x 2 x 2 x 3 x 2 x 2 of 1728 mogelijke tractors (aantal bill of materials)

Nu ga je de bills of materials dus optellen in plaats van vermenigvuldigen. Hier gaan we dan 1superbill van maken die deze stukken dan gaan verbinden.

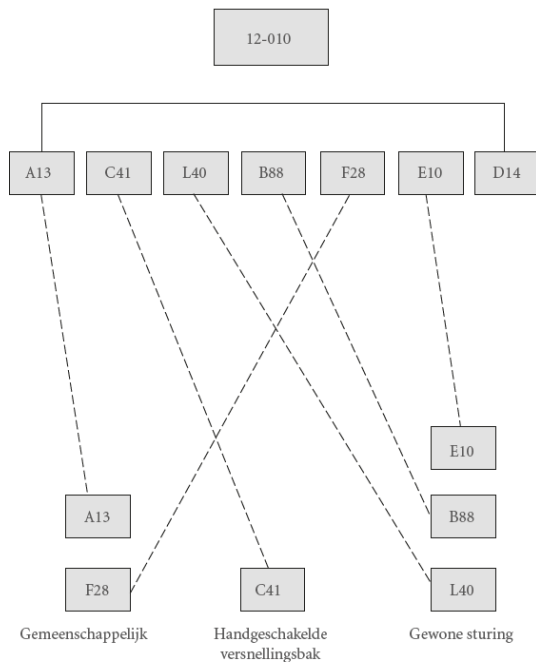
- Basistractor (1)
  - Wielconstructie (3)
  - Brandstof (3)
  - Paardenkracht (2)
  - Versnellingsbak (2)
  - Stuurinrichting (2)
  - Tractordifferentieel (2)
  - Motorbeveiliging (3)
  - Hefinrichting (2)
  - Radiatorbescherming (2)
- ➔  $1+3+3+2+2+2+2+3+2+2$  of 22 bills

*Het volgende werd overgeslagen:*

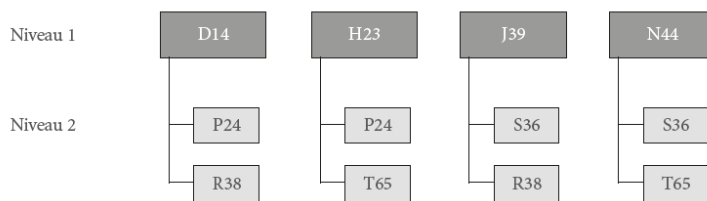
Een aantal jaren waren er zeer veel mogelijkheden tot personalisatie, waarbij ze moesten gaan zoeken waar ze modules moesten gaan maken. Vandaag maken ze dingen zelf modulair bij het ontwerp zodat ze deze niet meer moeten onderverdelen.



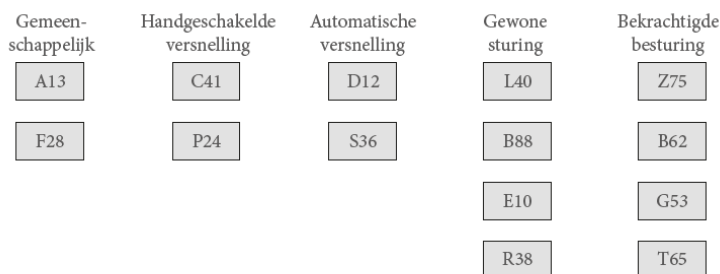
Figuur 10: Bills of material voor vier tractormodellen



Figuur 11: Niveau 1-producten toegewezen aan de diverse groepen. Uitgewerkt voorbeeld voor de eerste bill of material



Figuur 12: Opsplitsing van de niet-toegewezen niveau 1-componenten



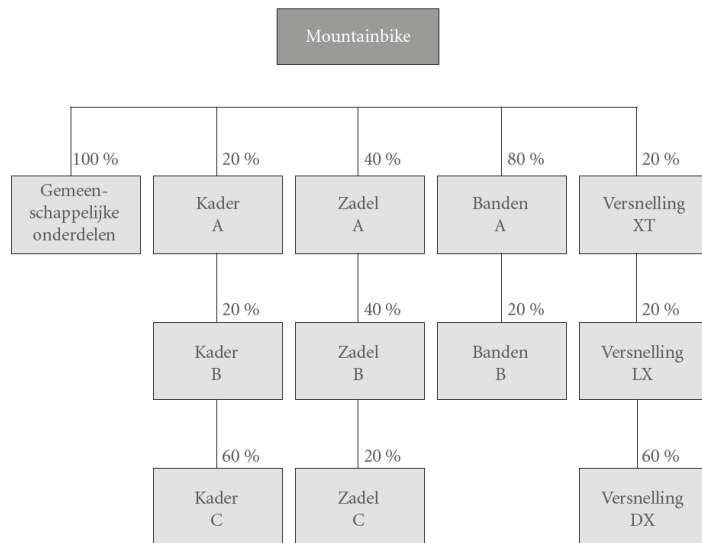
Figuur 13: De complete modularisatie

Tot hier

## Superbill voor de mountainbike

Deze producten worden deze jaren ook gepersonaliseerd. Het heeft een pak gemeenschappelijke onderdelen, waarbij je keuze hebt uit 3 types kader, 3 types zadels, 2 types banden en 3 types versnellingen. Elk van die modules hebben een bill of material. Dit geheel dat je hieronder ziet is dan de superbill. Als je volgende maand 1000 stuks wilt verkopen, dan weet je bv dat er 1000 labels op moeten hangen (gemeenschappelijk element) maar van de kaders weet je hoeveel producten je per bill moet hebben. Hier is vaak forecasting data ter beschikking van.

Je hebt hierbij dus een MPS voor de hoeveelheid zadels, en dan wordt op basis hiervan een hele bill of material voor dit type zadel uitgewerkt.



Figuur 14: Superbill voor de mountainbike

### 3.3 Orderbelofte - available to promise (ATP)

Geprojecteerd beschikbaar (t-1) + MPS (t) - max (prognose, orders) (t) =  
Geprojecteerd beschikbaar (t)

ATP: Wat is er beschikbaar voor de klant die binnenkomt? Vandaag de dag is dit sterk veranderd want wordt er veel geautomatiseerd door de bestellingen op het internet. Hier zitten we op het MPS niveau, op het niveau waar de vraag binnen komt.

- Tijdsgephaseerde registratie: week 1

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prognose		10	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15
Orders		5	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	20	40	30	20	40	30	20	35	20	35	20	35	20
ATP		40	-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-
MPS		30	-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-

Nu komen de orders die bevestigd zijn erbij (degene die voor je op de wachtlijst staan), waarbij we de ATP gaan berekenen. Voor de MPS nemen we altijd het maximum van de prognose en de orders. Forecast consumption: de orders consumeren de voorspellingen, waarbij we met de orders de voorspellingen zullen inhalen. Hiervan gaan we het maximale van de 2 nemen om de MPS te kunnen berekenen. We zitten in begin van de periode, waarbij het altijd kan dat klanten nog binnen komen. Hier zie je bij "beschikbaar" altijd de prognose eraf gaan (of de orders indien deze groter is dan de prognose).

ATP spreekt vaak over meerdere periodes: je hebt 1x 30 die binnenkomen maar daar moet je mee overleven tot periode 4 wanneer er nieuwe 30 binnen komen.

Je hebt in periode 0 ook 20 beschikbaar, dus heb je in totaal 50 beschikbaar, maar in periode 1 heb je er al 10 nodig, us heb je er maar 40 over (deze geldt dan voor periode 1, 2 en 3).

- Additionele bestellingen

Order	Hoeveelheid	Te leveren week
1	20	1
2	10	2
3	35	5
4	10	6

Vraag: Kan je er 20 beloven in periode 1: OK

- Eerste order – 20 eenheden in week 1

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prognose		10	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15
Orders		<b>25</b>	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	20	25	15	5	25	15	5	20	5	20	5	20	5
ATP		<b>20</b>	-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-
MPS		30	-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-

Hierbij ga je voorlopig de MPS niet aanpassen. Hierbij ga je je ATP wel aanpassen naar 20 (40-20)

- Uitgangspositie voor week 2

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prognose		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
Orders		3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	25	15	5	25	15	5	20	5	20	5	20	5	-15
ATP		<b>20</b>	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-
MPS		-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-

Hierbij is je MPS berekend op basis van je prognose.

- Tweede order – 10 eenheden voor week 2

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prognose		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
Orders		<b>13</b>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	25	12	2	22	12	2	17	2	17	2	17	2	-18
ATP		<b>10</b>	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-
MPS		-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-

- Derde order – 35 eenheden voor week 5

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prognose		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
Orders		13	2	-	<b>35</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	25	12	2	22	-13	-23	-8	-23	-8	-23	-8	-23	-43
ATP		<b>5</b>	-	<b>0</b>	-	-	30	-	30	-	30	-	-
MPS		-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-

Om die 35 te voldoen, zullen ze 5 van de 10 van de ATP van periode 2 gebruiken en 30 van de ATP van periode 4. Hierbij zullen de meeste bedrijven de ATP herberekenen om er nog een extra tussen te steken.

- Vierde order – 10 eenheden voor week 6

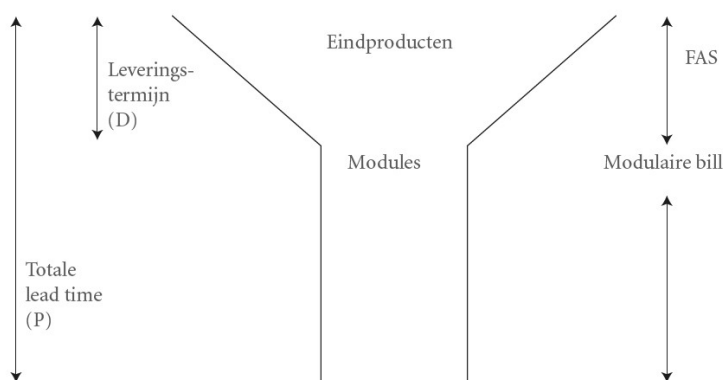
Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prognose		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
Orders		13	2	-	35	<b>10?</b>	-	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	25	12	2	22	-13	-23	-8	-23	-8	-23	-8	-23	-43
ATP		5	-	0	-	-	30	-	30	-	30	-	-
MPS		-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-

Indien je hier in oude ATP zal graven, zal je er toch nooit geraken. Hier zal je maximaal tot 5 geraken. Hierbij zullen de onderhandelingen opstarten waarbij ze een andere hoeveelheid zullen voorstellen. De gevraagde hoeveelheid kan niet worden voldaan.

- Vierde order – geplaatst na onderhandelingen

Periode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Prognose		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	20
Orders		13	2	-	35	-	10	-	-	-	-	-	-
Beschikbaar	25	12	2	22	-13	-23	-8	-23	-8	-23	-8	-23	-43
ATP		5	-	0	-	-	20	-	30	-	30	-	-
MPS		-	-	30	-	-	30	-	30	-	30	-	-

### 3.4 Het finaal assemblageplan (FAS)



Figuur 15: Rol van FAS

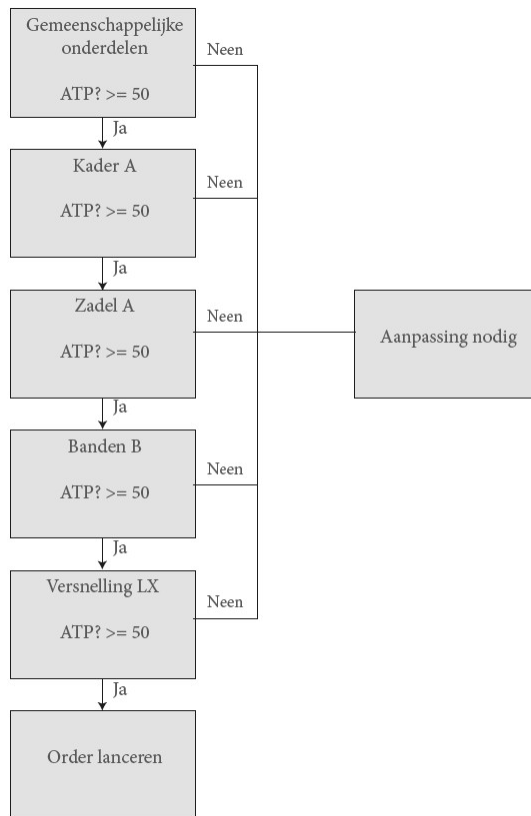
Alle modules worden gemaakt via een MPS model. Nu komt de vraag binnen voor de verschillende types.

Product KAZABVLX	FAS-horizon: 4 weken Ordergrootte: 50				Benaming: mountainbike
Week	1	2	3	4	
Geboekte orders	10	-	200	30	
Beschikbaar : 120	160	160	10	30	
ATP	10	0	20		
FAS	50	50	50		

Hier komen de geboekte orders toe in de verschillende weken. Om dit goed te kunnen doen, moet je achteraan beginnen. Je begint dus met het FAS (de assemblage van een nieuw order), trekt hier de geboekte orders van af en ziet hoeveel je er nog over hebt voor de ATP ( $50 - 30 = 20$ )

### Binding FAS en modulaire MPS





Figuur 16: Binding FAS en modulaire MPS

Hier zal je per module gaan kijken of de ATP voldoende groot is, en kan je enkel de bestelling uitvoeren indien je voor elke module een ja krijgt, anders moet je aanpassingen doen?

#### 4. Distributiebehoefteplanning

- Berekening en beheersing van interne materiaalstromen:
  - o zie vorige hoofdstukken
- Goederen- en informatiestromen extern aan het bedrijf:
  - o Captatie van de vraag van de klanten:
    - Vraag naar eindproducten samenbrengen en centraal binnenbrengen in het MRP/ERP systeem
    - Twee alternatieven:

4.1 Distributiebehoefteplanning (DRP): DRP of distribution requirements planning is een gecentraliseerd model dat volledig de MRP-logica volgt. Dit verschilt in niets van MRP, maar de toepassing is op distributie en niet op materiaal. MRP is een systeem wat poolt: je kijkt wat je nodig hebt in de toekomst en berekent terug wat je nodig hebt. Het is dus rekenen achterwaarts. Dit is meer prognose gedreven.

4.2 - Fair share allocation: deze redeneert omgekeerd, je hebt een lot en je bepaalt wie dit lot zal krijgen. Dit is meer productie-gedreven.

#### 4.1 DRP

##### Voorbeeld tuincentrum

DRP is het planningsconcept dat ervoor zorgt dat eindproducten op juiste plaats, in juiste hoeveelheid en op juiste moment de klant bereiken. DRP maakt gebruik van dezelfde concepten als MRP/ERP.

Voorbeeld: Tuincentrum verkoopt spaden...

- Beschikbare voorraad: 300 stuks
- Verwachte verkopen: 400 in week 24, 500 in week 26, 600 in week 29
- Zending op komst: 300 stuks die we verwachten in week 24
- Veiligheidsvoorraad: 100 stuks
- Herbevoorrading bij producent: 2 weken
- Ordergrootte: 500 eenheden

		23	24	25	26	27	28	29	30
Voorspelling			400		500			600	
In transit			300						
Beschikbaar	300	300	200	200	200	200	200	100	100
Ontvangst te plannen shipment					500			500	
Te plannen shipment			500			500			

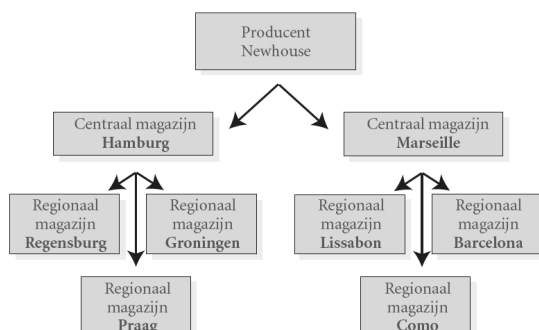
Tabel 17: DRP-registratie

Dit is een distributie requirement tabel. Je zal aan de tabel zelf niet zien dat dit distributie-gedreven is. Hier heb je bijvoorbeeld 300 liggen en hebt er 400 nodig, waarbij er 300 binnen komen in transit in periode 24. Om het distributienetwerk te bevoorraden, moet je er per 500 bestellen. Je praat hier over een distributieproces in plaats van een productieproces.

Te plannen shipments:

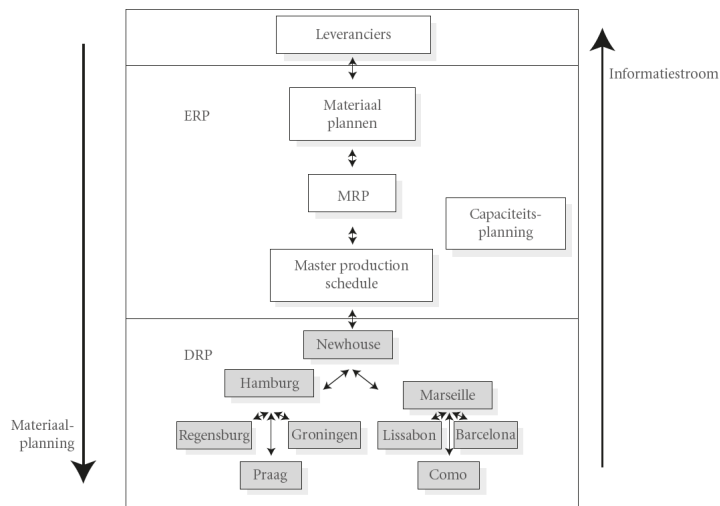
- Geven aan hoeveel en wanneer producten van producent verstuurd moeten worden
- Vormt de basis van het hoofdproductieplan van de producent

### Voorbeeld R.V. Newhouse



Figuur 17: Situatieschets

Je hebt een producent in Europa met 2 grote centrale magazijnen. Deze gaan zelf 3 regionale magazijnen bevoorraden, zie zelf winkels gaan bevoorraden. Onderaan ga je de gegevens verzamelen vanuit de winkels.



Figuur 18: Het volledige planningsgebeuren

De zandloper in productie gaat van zeer veel componenten naar een eindproduct.

Regionaal	Beginvoorraad	Ordergrootte
Regensburg	180	250
Groningen	210	350
Praag	320	300
Lissabon	120	150
Barcelona	190	150
Como	140	200
Centraal		
Hamburg	1100	700
Marseille	650	500
Productie	Beschikbaar	Ordergrootte
	800	1600

Tabel 18: Startgegevens

Dit komt vanuit de rederingen vanuit het hoofdstuk van voorraadbehering. Als je besteld is het per een bepaalde hoeveelheid.

#### Regensburg

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Voorspelling		150	130	110	170	100	130	150	140	150
In transit										
Beschikbaar	180	30	150	40	120	20	140	240	100	200
Ontvangst te plannen shipment			250		250		250	250		250
Te plannen shipment		250		250		250	250		250	

#### Groningen

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Voorspelling		180	200	160	170	190	210	190	180	170
In transit										
Beschikbaar	210	30	180	20	200	10	150	310	130	310
Ontvangst te plannen shipment			350		350		350	350		350
Te plannen shipment		350		350		350	350		350	

#### Praag

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Voorspelling		210	200	220	210	200	190	200	190	200
In transit										
Beschikbaar	320	110	210	290	80	180	290	90	200	0
Ontvangst te plannen shipment			300	300		300	300		300	
Te plannen shipment		300	300		300	300		300		300

#### Hamburg

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vraag centraal magazijn		900	300	600	300	900	600	300	600	300
In transit										
Beschikbaar	1100	200	600	0	400	200	300	0	100	500
Ontvangst te plannen shipment			700		700	700	700		700	700
Te plannen shipment		700		700	700	700		700	700	

Tabel 19: *Distributiebehoeften Hamburg*

Hier zie je de hoeveelheden per magazijn. De orders zijn hier 1 periode onderweg. Voor de behoeften van het magazijn, dan moet je deze bepaalde hoeveelheden bestellen aan de centrale magazijnen. Hiertussen zit transport, veiligheidsstock, etc. Elk regionaal magazijn doet dit op zijn eigen. Dit komt dan allemaal samen in het centrale magazijn (alles opgesteld bij de vraag).

#### Lissabon

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Voorspelling		90	60	80	50	70	80	100	70	80
In transit										
Beschikbaar	120	30	120	40	140	70	140	40	120	40
Ontvangst te plannen shipment			150		150		150		150	
Te plannen shipment		150		150		150		150		150

#### Como

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Voorspelling		90	80	70	100	80	90	70	80	90
In transit										
Beschikbaar	140	50	170	100	0	120	30	160	80	190
Ontvangst te plannen shipment			200			200		200		200
Te plannen shipment		200			200		200		200	

#### Barcelona

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Voorspelling		110	100	130	110	120	110	100	110	100
In transit										
Beschikbaar	190	80	130	0	40	70	110	10	50	100
Ontvangst te plannen shipment			150		150	150	150		150	150
Te plannen shipment		150		150	150	150		150	150	150

#### Marseille

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vraag centraal magazijn		500	0	300	350	300	200	300	350	300
In transit										
Beschikbaar	650	150	150	350	0	200	0	200	350	50
Ontvangst te plannen shipment				500		500		500	500	
Te plannen shipment			500		500		500	500		500

Tabel 20: *Distributiebehoeften Marseille*

In transport tijd zit alles in wat nodig is voor de bestelling, de doorlooptijd. Dit is de tijd om het daar te krijgen incl douane etc. Hierboven dezelfde redenering voor het andere centrale magazijn. Hieronder de totalen voor beide centrale magazijnen. Dit is dan het totaal voor de fabriek, hoeveel ze moeten produceren voor beide centrale magazijnen.

#### Marseille

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vraag centraal magazijn		500	0	300	350	300	200	300	350	300
In transit										
Beschikbaar	650	150	150	350	0	200	0	200	350	50
Ontvangst te plannen shipment				500		500		500	500	
Te plannen shipment			500		500		500	500		500

#### Hamburg

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vraag centraal magazijn		900	300	600	300	900	600	300	600	300
In transit										
Beschikbaar	1100	200	600	0	400	200	300	0	100	500
Ontvangst te plannen shipment			700		700	700	700		700	700
Te plannen shipment		700		700	700			700	700	

#### R.V. Newhouse productie

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Globale vraag distributie		700	500	700	1200	700	500	1200	700	500
Beschikbaar	800	100	1200	500	900	200	1300	100	1000	500
Ontvangst te plannen productie			1600	0	1600	0	1600	0	1600	0
Te plannen productie		1600		1600		1600		1600		1600

Tabel 21: *Samenvatting*

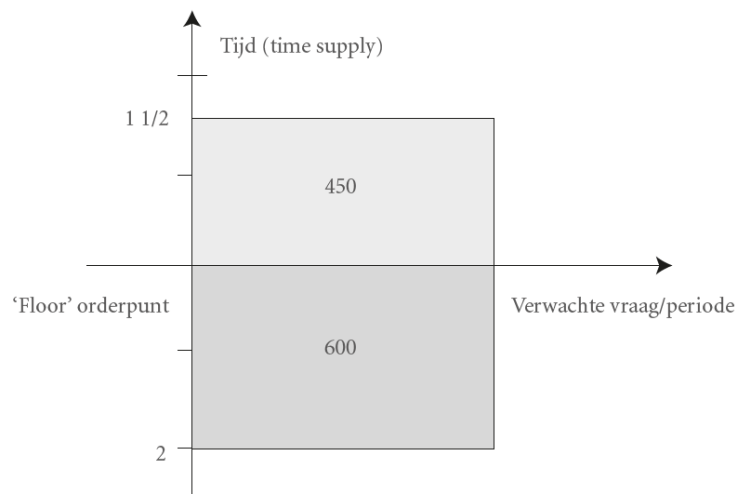
## 4.2 Fair share allocation

- EDA ("Eerlijk Deel-Allocatie") = planningsmethode ontwikkeld door Caterpillar
- Een centraal geleide planning door de producent.
- Eindproducten worden verdeeld over verschillende magazijnen (verkoopsorganisaties/markten) zodat elk "een eerlijk deel" ontvangt.
- "Een eerlijk deel" is de hoeveelheid die ervoor zorgt dat elk magazijn over een gelijk aantal periodes aan de vraag kan voldoen (= System Time Supply).
- ➔ magazijnen op zelfde ogenblik aan herbevoorrading toe
- ➔ Bv AbInBev heeft een grote hoeveelheid bier gemaakt en moet kijken hoeveel ze naar waar gaan alloceren. Hier moet je rekening houden met de hoeveelheid consumptie in de depots (de vraag) en hoeveel ze nog in stockage hebben (is er veel verkocht?) en hoeveel je nodig hebt om een nadeel van allocatie op te vangen (is het ver van het depot verwijderd?). Het is dus belangrijk dat iedereen hierdoor op hetzelfde moment terug kan gaan bestellen, wat een aantal logistieke voordelen heeft.

### Voorbeeld 1

- Voorraad in magazijn: 1050 stuks
- Verwachte vraag per periode: 300 stuks
- Herbevoorradingperiode (lead time): 2 periodes
- Veiligheidsvoorraad:
- Uitdrukken in tijd en optellen bij lead time
- Lead time = fysische overbruggingstijd + veiligheidsvoorraad

- Orderpunt =  $2 * 300 = 600$
- Resterende voorraad =  $1050 - 600 = 450 = 1,5$  maand

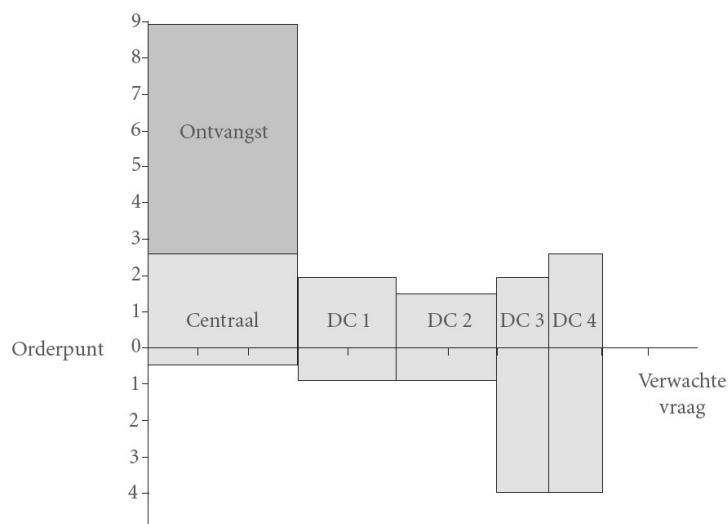


Figuur 19: Grafische voorstelling van de voorraad

Dit is een vloerplan: wat heb je nodig om het nadeel dat je ver woont te overbruggen? Wat eronder ligt betekent dat je rekening houdt met hoelang de voorraad onderweg is bv 2 dagen, waarbij je vraag 300 is geeft  $2 \times 300 = 600$ . Dit gaan we dan vergelijken met alle spelers in het algemeen.

## Voorbeeld 2

- supply chain bestaande uit:
- 1 centraal magazijn en 4 lokale distributiecentra (DC's)
- Verdeel ontvangen goederen zodanig dat system time supply (STS) voor iedereen (incl. centraal magazijn) gelijk is

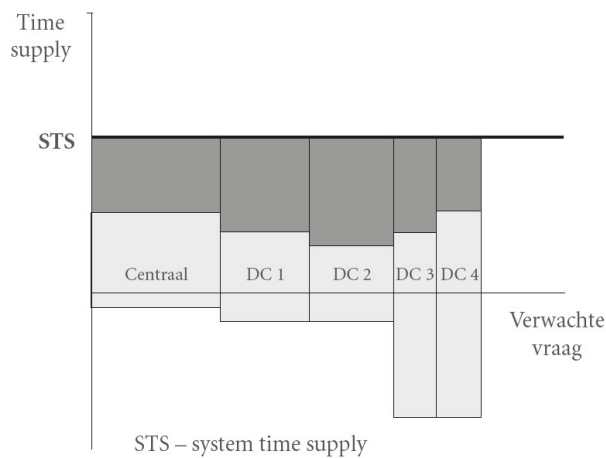


Figuur 20: Beginsituatie

Hier heb je een centraal magazijn en 4 regionale magazijnen. Alles wat eronder zit gaan we niet in rekening brengen in de verdeling. Erboven willen we zorgen dat iedereen op hetzelfde moment zonder valt. Dit zal nooit op een rechte lijn eindigen want hangt ook af van wat ze gaan gebruiken, maar in theorie zou dit

wel zo zijn. De oppervlakte van de rechthoeken moet hetzelfde zijn als de totale ontvangst.

### Voorbeeld 2: Eerlijk-deel-allocatie



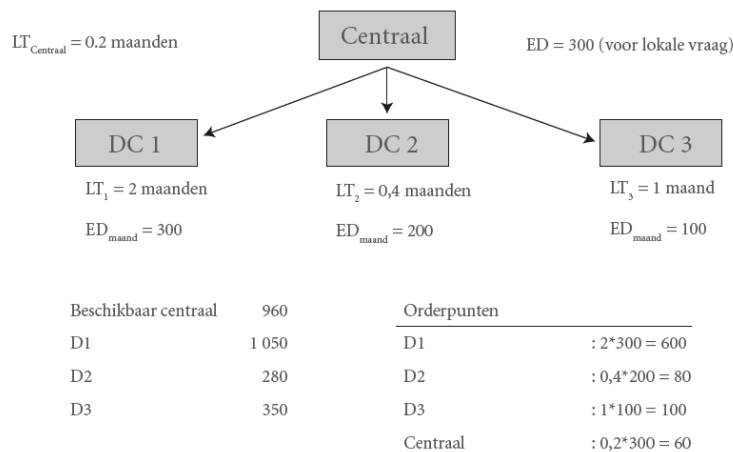
Figuur 21: Eerlijk-deel-allocatie

### Voorbeeld 3

Bij toewijzen eindproducten, zorg ervoor dat:

1. Tekorten opgelost worden
2. Orderpunten bereikt worden
3. Elke partij een gelijke STS heeft

### Voorbeeld 3: Eerlijk-deel-allocatie



Figuur 22: Voorbeeld met 1 centraal magazijn en 3 lokale DC's

Elk heeft een lead time, vraag en beschikbare voorraad. Hierbij gaan ze dus op basis van de vraag en de afstand tot het magazijn de orderpunten bepalen. Hierbij tellen we alles wat in het systeem zit, tellen hier de 2400 bij (wat er bij het systeem komt) en hier trekken we de orderpunten vanaf om te corrigeren voor de afstand. Dit geeft 4.66: als dit netjes verdeeld wordt over het systeem, zou

iedereen 4.66 periodes kunnen voortdoen. Op dat moment hopen we een nieuwe batch te hebben wat we dan opnieuw kunnen verdelen.

De system time supply (STS) na ontvangst van de goederen is:

$$STS = \frac{\text{Beschikbaar} + \text{Ontvangen} - \text{Orderpunten}}{300 + 200 + 100 + 300}$$

$$STS = \frac{(960 + 1\,050 + 280 + 350) + 2\,400 - (600 + 80 + 100 + 60)}{300 + 200 + 100 + 300}$$

$$STS = 4,66$$

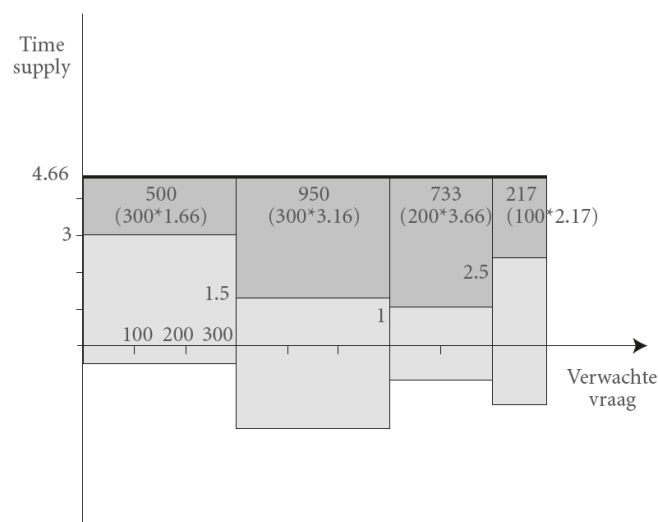
De huidige STS in elk magazijn bedraagt:

$$\begin{array}{ll} \text{DC 1:} & \frac{1050 - 600}{300} = 1,5 \\ \text{DC 2:} & \frac{280 - 80}{200} = 1 \\ \text{DC 3:} & \frac{350 - 100}{100} = 2,5 \\ \text{Centraal:} & \frac{960 - 60}{300} = 3 \end{array}$$

Dus de allocatie voor elk magazijn is:

$$\begin{array}{ll} \text{DC 1:} & (4,66 - 1,5) \times 300 = 950 \\ \text{DC 2:} & (4,66 - 1) \times 200 = 733 \\ \text{DC 3:} & (4,66 - 2,5) \times 100 = 217 \\ \text{Centraal:} & (4,66 - 3) \times 300 = 500 \end{array}$$

Wat moet je dan verkrijgen tussen de 4.66 en wat jij nodig hebt? Dan gaan we kijken wat we hebben liggen (960) en kijken wat we nodig hebben op basis van de afstand (60) en de lokale vraag (300) en zien we hoever dit magazijn (hier het centrale magazijn) zou geraken. Opbasis hiervan zien we dan hoeveel ze nog bij moeten krijgen om tot de 4.66 te geraken. Dan heb je dus de nieuwe verdeling, die weer tot 4600 zou moeten leiden.



Figuur 22: Toewijzing van ontvangen goederen via EDA

- Eenvoudig en krachtig
- Herbevoorrading = repetitief karakter:
  - o Centraal magazijn en DC's zullen na een STS het orderpunt bereiken

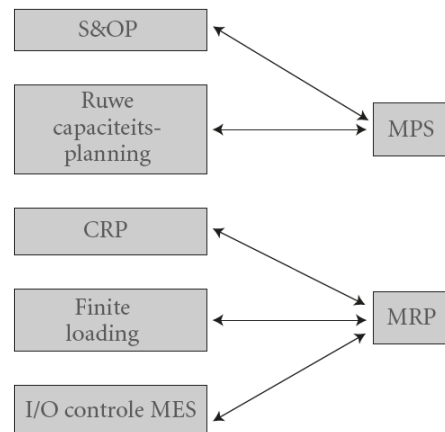


- Planning van producent kan hierop anticiperen

## 5. Capaciteitsplanning in een ERP-context

We hebben in MRP altijd over materiaal bezig geweest. Hierbij kijken we ook naar 1 periode. Hierbij hebben we altijd geassumeerd dat capaciteit nooit een probleem is. Dit is eigenlijk niet zo. Stel dat alles op eenzelfde dag op de cammion moet, maar dit gaat niet. Hierbij moeten we dus een beperking plaatsen voor de capaciteitsplanning. Hier zijn modellen voor maar deze staan niet in deze cursus. De termen zijn wel van belang:

- Sales & operationsplanning (S&OP)
- Ruwe capaciteitsplanning
- Capacity requirementsplanning (CRP): capaciteitschecks op het niveau dat je bezig bent bv materiaalplan dat je gaat evalueren of je het kan doen.
- Finite-loading-techniek: houdt rekening met capaciteit en materiaal
- Input-outputanalyse en module management execution system (MES)



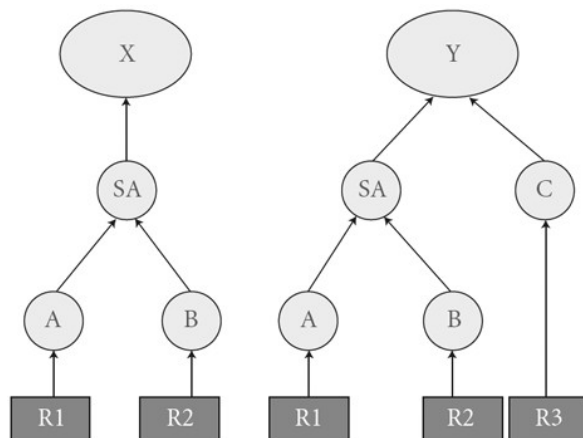
Figuur 23: Capaciteitsplanning in het ruimere kader van een productiesysteem

## Deel IV: Gedetailleerde productieplanning tegen eindige capaciteit

Bij MRP zijn doorlooptijden altijd dezelfde bv 2 weken. In de praktijk is dit niet zo, als het kalm is kan het sneller etc. We kunnen dus stukken van het systeem beter gaan plannen op basis van knelpunten. Denk aan het verkeer, waarbij je bij Brussel meer in de file zal staan. Iedereen zal hier rekening mee houden in de planning. Dit gaan we bekijken via de knelpunttheorie, de theory of constraints.

### 1. Inleiding: capaciteitsgeoriënteerde planning

#### Productstructuur



Met een aantal grondstoffen zal je component A en B kunnen maken, wat kan worden omgezet in product X. Hier zit telkens dezelfde lead time achter, wat niet kan kloppen.

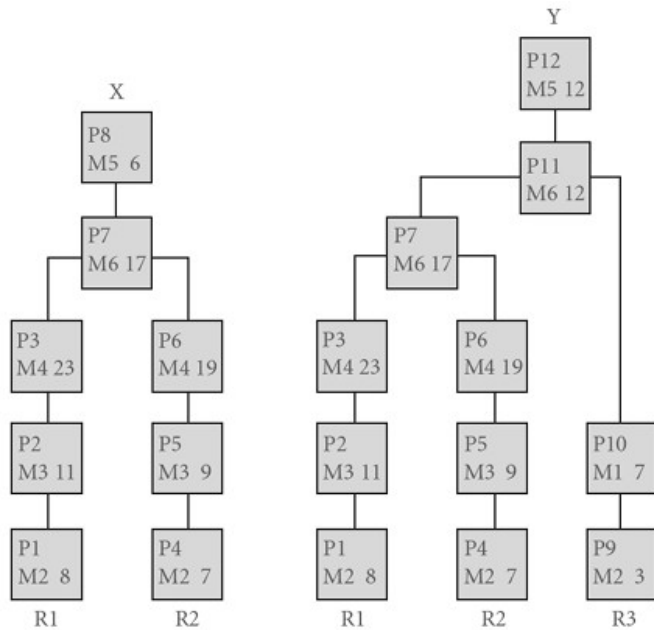
#### Overzicht van de bewerkingen

##### Gedetailleerde productieplanning

Onderdeel	Proces	Machine	Productietijd/eenheid
A	P1	M2	8
	P2	M3	11
	P3	M4	23
B	P4	M2	7
	P5	M3	9
	P6	M4	19
SA	P7	M6	17
X	P8	M5	6
C	P9	M2	3
	P10	M1	7
Y	P11	M6	12
	P12	M5	12

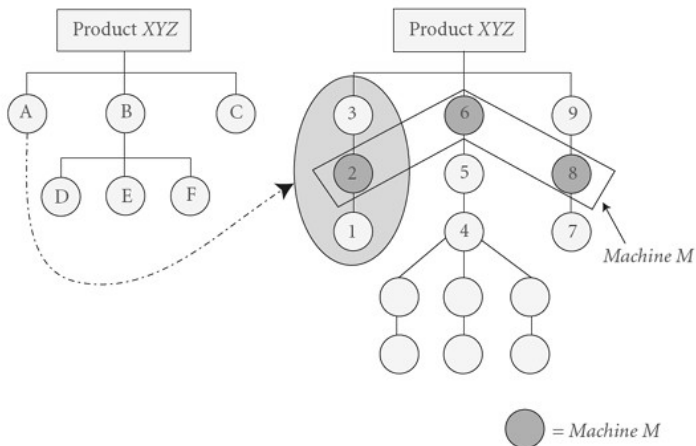
Voor het gemak spreken we over machines, maar dit kunnen ook werkrachten zijn etc. Algemeen zijn het “processen”. 1 eenheid duurt 8 minuten per stuk voor product A. Hierachter zit de capaciteit voor 1 eenheid te maken.

## Processtructuur



Als je de bill of material verder in detail afwerkt, kom je hierop uit met alle stappen en resources waarmee het gebeurt. Hier komen set-ups bij, onderhoudszaken, etc maar dit is niet het idee. Dit is de will of processes, een lijst van processen. Dit zie je bijvoorbeeld ook in ziekenhuizen waarbij je voor een bepaalde ingreep alle stappen gaat definiëren om te kijken of alle materialen beschikbaar zijn. Product structuur wordt verder gedefinieerd in process structuur.

## Bill of material en bill of manufacture

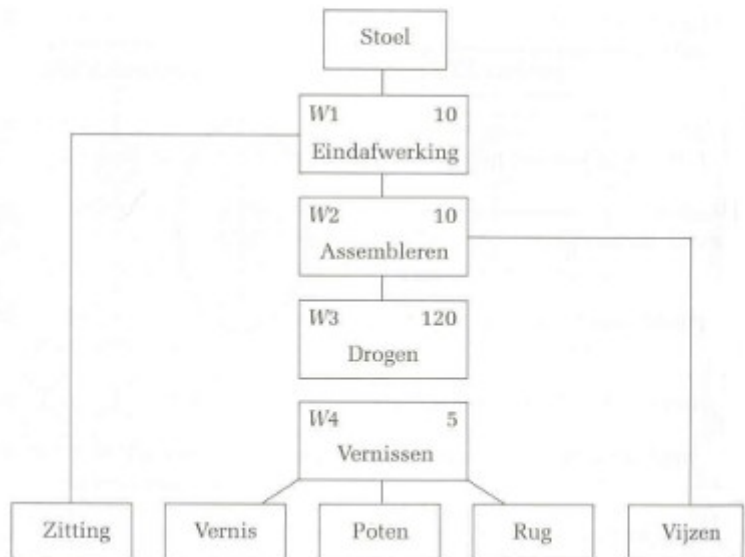


Dit heeft niets te maken met het vorige voorbeeld. Als je de verschillende process stappen definieert, zie je dat je voor sommige stappen dezelfde resources nodig hebt. We gaan er van uit dat je maar 1 resource hebt, dus kan je dit maar 1x per keer doen. We gaan het houden met de planning, hoe kunnen we op een hoger niveau rekening houden met de resource?

### Extra voorbeeld

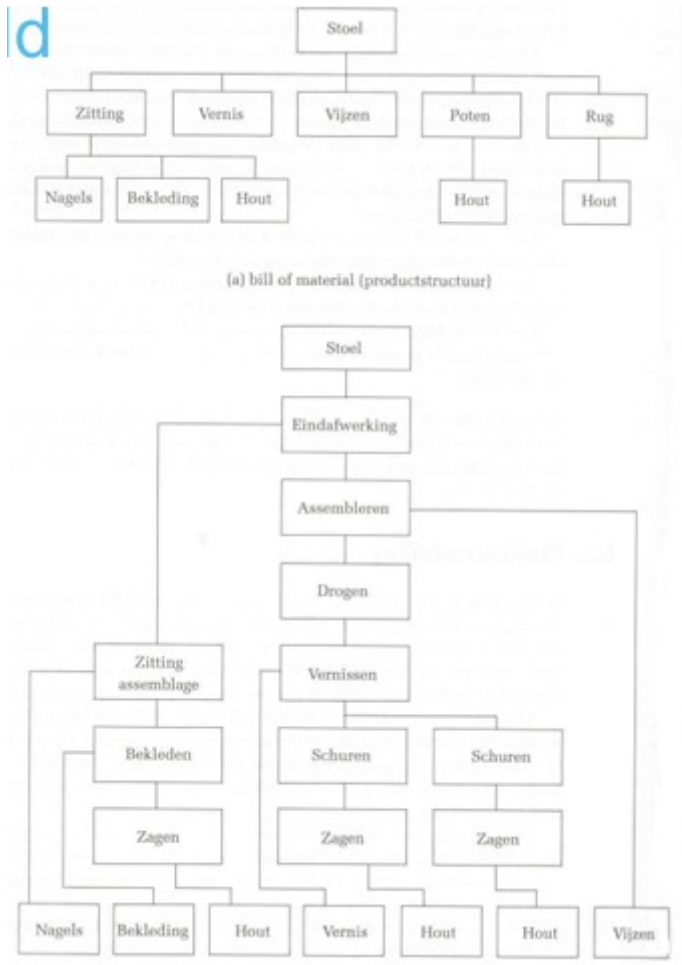


(a) bill of material (productstructuur)



Hier nog eens een ander voorbeeld, die hetzelfde laat zien.

### Extra voorbeeld



## 2. Probleemstelling

Door de volgorde van de elementen te bepalen, kan je proberen elementen zo snel mogelijk af te werken.

- Finite capacity scheduling
- Criteria voor goed plan: verschillende doelstellingen
  - o Due-date performance: plannen tegen een bepaalde deadline, alles proberen optijd klaar te hebben en kijken wat je hiervoor moet doen → zeer belangrijk voor de klant, de volgorde bepaald hoe goed je het kan doen
  - o Throughput: een andere doelstelling kan bijvoorbeeld zijn dat je zo veel mogelijk wilt produceren, dit zal bepaald worden door je knelpunt. → KPI, gaan we het vandaag vooral over hebben bv vaccins voor Covid moest zo snel en zo veel mogelijk zijn op korte tijd
  - o Lead time: zorgen dat je zo snel mogelijk werkt
  - o Work in process: zorgen dat elementen in een bepaalde fase blijven zitten bv tegen bederving
  - o Utilization: bezetting waarbij we gaan kijken hoeveel we de zaken maximaal kunnen gaan bezetten → belangrijk voor de verantwoordelijke, degene die alles betaald

- Mogelijkheden voor goed plan:
  - o Ordergrootte
  - o Release date
  - o Capaciteit
  - o Volgordebepaling
  - o Due-date bepaling

Je kan spelen met de scedueles door te spelen met de ordergrootte (grotere hoeveelheden duren langer maar kleinere hoeveelheden zijn kostelijker). Je kan ook gaan spelen met de release date, waarbij je gaat bepalen wanneer je ermee gaat beginnen. Je kan ook met de capaciteit gaan spelen door bv weekendwerk, overuren, etc. Volgordebepaling zal ook de performantie beïnvloeden, de volgorde in welke je de verschillende elementen zal produceren. Als laatste kan je ook je deadline gaan verschuiven.

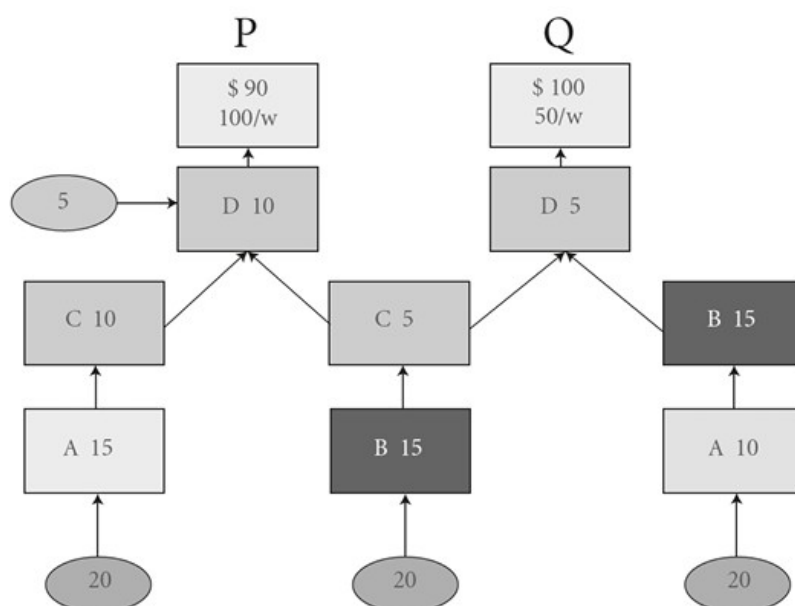
We hebben dus veel mogelijkheden in ons plan om de bepaalde processen in te plannen.

### 3. Theory of constraints

Deze theorie is iets commercieels. Je moet een aantal zaken herkennen in het privéleven en dit moet je ook kunnen toepassen in het professioneel leven.

- Prestatie wordt bepaald door de beperkingen van een systeem, knelpunten:
  - o Interne beperkingen: capaciteit, personeel
  - o Externe beperkingen
- Vier kernelementen in Theory of constraints theorie:
  - o Productmix-beslissingen (3.1)
  - o Beperkingen en prioriteitsbepaling (3.2)
  - o Ordergroottebeslissingen en -beperkingen (3.3)
  - o Het drum-buffer-rope of DBR-concept (3.4)

#### 3.1 Productmix-beslissingen



Dit is een zelfde oefening, uitgewerkt in het boek. Later gaan we een vergelijkbare oefening maken.

- Goldratt: "The performance of any real system is limited by its constraints"  
→ de performantie van het system wordt beperkt door zijn beperkingen bv file in Brussel waar je sowieso door moet.
  - Stappen:
    - o Zoek knelpunt: waar ligt het probleem? Bv waar moeten we een rijvlak bijleggen?
    - o Knelpunt eerst plannen bv als je weet dat er 3000 wagens door kunnen, moet je er geen 5000 doorlaten.
    - o Maak de rest ondergeschikt aan het gekozen knelpunt bv de maximale hoeveelheid patiënten die je kan zien is 100, dan heeft het geen zin er 150 in te plannen.
    - o Knelpunt doorbreken: inspelen op het knelpunt zelf om dit op te lossen bv extra uren inplannen, extra rijvlakken bijleggen, etc
    - o Zoek nieuw knelpunt: het knelpunt zal waarschijnlijk ergens anders opkomen, door het knelpunt op de originele plaats proberen op te lossen.
- "Continuous improvement"

Bijvoorbeeld de maatregel om 100km/h te rijden op de ring van Brussel, om het knelpunt onder controle te hebben en dit daardoor niet te verplaatsen. De afstand tussen 2 wagens bij 120km/h moet groter zijn, waardoor de afstand minder optimaal benut zal worden.

Afdeling	Model A	Model B	Model C	Model D
Vorbewerking	20	22	-	-
Houtzagerij	5	5	25	50
Subassemblage	20	25	15	5
Eindmontage	20	10	6	5
Beschikbare capaciteit per week				
Vorbewerking		4800 (80 uur)		
Houtzagerij		2400 (40 uur)		
Subassemblage		7200 (120 uur)		
Eindmontage		4800 (80 uur)		
	Model A	Model B	Model C	Model D
Marge	70	69	60	93
Maximale vraag	100	100	50	30

Hierboven een voorbeeld om het toe te passen op productie. Productmix beslissingen komen voor als je niet genoeg capaciteit hebt en je je middelen meer efficiënt moet inplannen. Bijvoorbeeld bij de examens, hoeveel moet je studeren om een bepaalde return te krijgen? Je gaat hierbij je studie-uren verspreiden over de bepaalde vakken om af te wegen wat je het meeste opbrengt. Hierboven zie je 4 producten met 3 tot 4 stappen per product. De beperkte capaciteit zijn de uren. Waar zit het knelpunt? Kunnen we al die modellen produceren op basis van de vraag en marge?

Vorbewerking	100*20 100*22	4200	4800	87,5%
Houtzagerij	100*5 100*5 50*25 30*50	3750	2400	<b><u>156,25%</u></b>
Subassemblage	100*20 100*25 50*15 30*5	5400	7200	75%
Eindmontage	100*20 100* 10 50* 6 30*5	3450	4800	71,8%

Hier moet je voor elke bewerking kijken hoeveel je in totaal nodig hebt. Hierbij zie je dat de tweede afdeling het knelpunt is en hierbij ga je kijken wat je hieraan kan doen. Financial people gaan de voorkeur geven aan het product met de grootste marge (hier Model D). Als je hierbij teruggrijpt naar de examens, kijk je naar de inpanning en de return. Je moet dus niet enkel rekening houden met de grootste marge, maar ook met de inspanning. Je moet minstens voldoen aan de vraag.

- Houtzagerij = knelpunt 100% bezetten
- Productmix op basis van de grootste contributiemarge:

D:  $30 \cdot 93(1500) \rightarrow 2790$

A:  $100 \cdot 70(500) \rightarrow 7000$

B:  $80 \cdot 69(400) \rightarrow 5520$  (hier hebben we nog 400 minuten over en voor product B moeten we 5 minuten per product hebben, waardoor we nog 80 producten kunnen maken)

-----  
15130

Dus we gaan rangschikken op basis van marge. Maar eigenlijk moet je kijken naar de opbrengst per tijd bij het knelpunt. Hier zie je de marges opnieuw in de eerste rij, maar hierbij gaan we kijken hoeveel uur we per eenheid moeten werken. De marge gaan we delen voor de beperkte capaciteit die we hebben en op basis hiervan ze rangschikken van hoog naar laag. Je kiest eerst degene met de grootste contributie per tijd van inspanning.



Product	A	B	C	D
Contributiemarge	$\frac{70}{5} = 14$	$\frac{69}{5} = 13,8$	$\frac{60}{25} = 2,4$	$\frac{93}{50} = 1,86$
Knelpunttijd				
Prioriteit	1	2	3	4

	Hoeveelheid	Tijd op knelpunt	Overblijvende tijd
A	100	500	1900
B	100	500	1400
C	50	1250	150
D	3	150	0

Je start met 2400 minuten, en trekt hier 500 minuten van af voor product A. Nadien ga je hier weer 500 minuten van aftrekken voor product B, wat je nog 1400 minuten geeft. Hieruit kan je ook nog de totale gevraagde hoeveelheid van C produceren, waarbij je 150 minuten over houdt. Deze worden dan volledig gebruikt voor product D. Hierbij heb je ook al je tijd gebruikt, maar is het knelpunt meer efficiënt gebruikt. Het is dus beter om je inspanning per opbrengst te gebruiken als maatstaf voor verdeling.

Productmix op basis van de grootste contributiemarge per eenheid knelpunttijd:

A	$100 * 70$	7 000
B	$100 * 69$	6 900
C	$50 * 60$	3 000
D	$3 * 93$	279

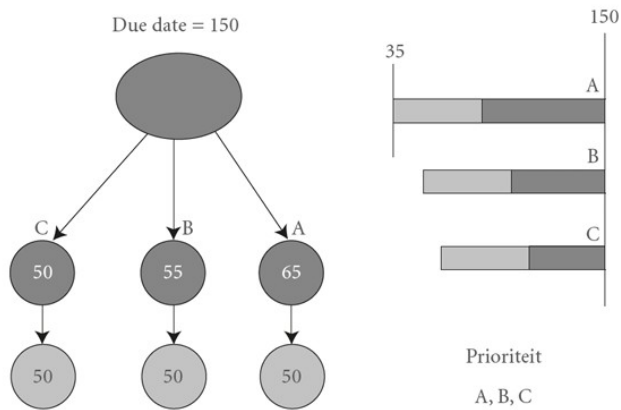
17 179 → dit is een beter resultaat

Bezettingsgraden bij de optimale mix: alle machines zullen mee zakken omdat het knelpunt niet meer kan verwerken dan 100%.

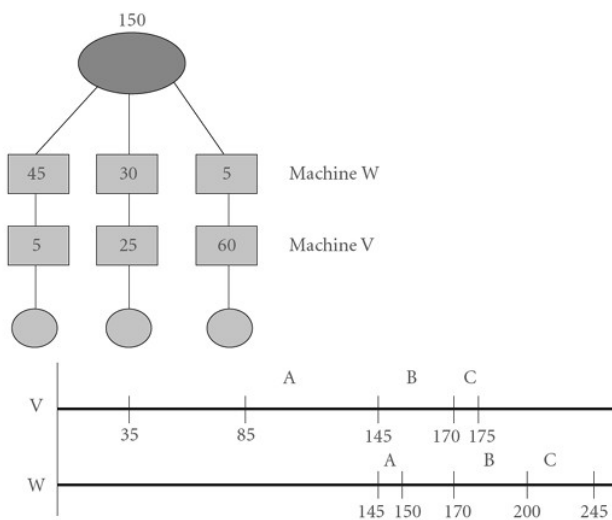
- Eindassemblage 69,09%
- Subassemblage 73,12%
- Houtzagerij 100%
- Voorbewerking 87,50% → enkel product A en B gebruiken de voorbewerking, waardoor deze bezetting dezelfde bezetting is als in de eerste benadering

### 3.2 Beperkingen en prioriteiten

**Niet te kennen - prioriteiten en beperkingen zijn te verwarrend**



Figuur 7: Beperkingen en prioriteit met een productstructuur



Figuur 8: Beperkingen en prioriteit met een processtructuur

Tot hier

### 3.3 Ordergroottebeslissingen en -beperkingen

Vraag	2500 per week
Omstelkosten	500
Voorraadkosten	10 per eenheid per week
Productietijd	0.8 min per eenheid
Omsteltijd	100 min
Due-date	Einde van de week (2400 min)

$$\text{Ordergrootte} = EOQ \times \frac{\text{omsteltijd nodig bij gebruik } EOQ}{\text{beschikbare omsteltijd}}$$

$$= 500 \times \frac{(2500/500) * 100}{400} = 500 * 1.25 = 625$$

$$\text{Met EOQ} = \sqrt{\frac{2 * 2500 * 500}{10}}$$

We hebben altijd de goedkoopste manier van doen berekend. Maar kan dit wel altijd, valt dit wel binnen je capaciteit? Dit kan niet altijd, gezien bedrijven graag zuinig zijn met capaciteit. Je berekend je EOQ op basis van kosten en zal je EOQ moeten aanpassen op basis van capaciteit. Bij MRP doen we alsof capaciteit geen probleem is, maar vaak is dit wel zo dus moeten we de analyse gaan aanpassen. De eerste 3 gegevens gebruik je om de EOQ te berekenen. We hebben hier 500 minuten voor nodig voor omsteltijd en 2000 minuten voor de productie voor 5 groepjes van 100, en je hebt maar 2400 minuten. Hiervoor moet je de lotsize aanpassen om het toch binnen je beschikbaarheid te doen, waarbij je dan weet dat dit niet de goedkoopste manier zal zijn.

De ordergrootte van 500 is te klein, dus moeten we deze groter maken zodanig dat het binnen de 2400 minuten valt. Hier gaan we de capaciteit volledig opvullen. Dit moet je dus goed in het oog houden want iets wat 100% gebruikt wordt is vaak instabiel. De berekening van de ordergrootte zie je hierboven.

### Mathematische probleemformulering:

$$\min \sum_{i=1}^n \left( \frac{D_i}{Q_i} C_0 + \frac{1}{2} Q_i C_h \right)$$

$$\text{beperking } \sum_{i=1}^N \frac{D_i}{Q_i} T_i = B$$

waarbij

$D_i$  = vraag product  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$

$Q_i$  = ordergrootte

$C_0$  = omstelkosten =  $T_i * S_i$

$T_i$  = omsteltijd

$S_i$  = omstelkosten per tijdseenheid

$C_h$  = voorraadkosten

$B$  = beschikbare omsteltijd = beschikbare tijd - variabele productietijd

Hetzelfde maar dan voor meerdere producten, moet je niet vanbuiten kennen.

### Oplossing:

1. Bereken  $EOQ_i \quad \forall i$

2. Bereken  $N$  = nodige omsteltijd

3.  $N \leq B \quad Q_i^{opt} = EOQ_i \quad \forall i$

$N > B \quad Q_i^{opt} = \frac{N}{B} EOQ_i = M * EOQ_i \quad \forall i$

Je berekent alle EOQ's, zonder rekening te houden met de beperkingen. Als de beschikbare omsteltijd groter is dan wat beschikbaar is, dan moet je je EOQ's groter gaan maken. Dit moet je minstens vermenigvuldigen met N/B. Je kan dit ook doen voor meerdere producten.

Product	D <sub>i</sub> (jaar)	T <sub>i</sub> (uren)	Productietijd per eenheid (min)	C <sub>n</sub>	C <sub>o</sub>
1	13 400	2.5	2.4	1.15	22.5
2	67 200	2.8	0.6	0.50	25.2
3	25 000	4.8	0.96	0.85	43.2
4	1 700	3.6	9.60	2.10	32.4
250 werkdagen per jaar, 480 min/dag					

Hier hebben we 4 producten die we met de EOQ oplossen. Kunnen we met de capaciteit deze EOQ gaan oplossen? Zo niet moeten we elke EOQ gaan vermenigvuldigen met de factor zodanig dat het binnen de capaciteit zal vallen. W

Wat kosten de verschillende EOQ's om te maken (productietijd + omsteltijd) en moet je deze dan aanpassen op basis van de capaciteit? De nodige tijd om de produceren is de vraag maal de tijd per stuk, delen door de hoeveelheid minuten per dag. In het voorbeeld hieronder is de totale hoeveelheid nodige dagen kleiner dan het aantal beschikbare dagen dus hebben we capaciteit genoeg. Maar dan hebben we maar 120 uur omsteltijd, dus moeten we de omstellingen voor de 4 producten in deze tijd kunnen uitvoeren.

benodigde productietijd in dagen:

$$\frac{13\,400 (2.40)}{480} + \frac{67\,200 (0.60)}{480} + \frac{25\,000 (0.96)}{480} + \frac{1\,700 (9.60)}{480} = 235 \text{ dagen}$$

$$250 - 235 = 15 \text{ dagen of } 120 \text{ uur voor omstellingen} = B$$

	EOQ <sub>i</sub>	Benodigde omsteltijd (uren)
1	724.1	46.26
2	2 602.6	72.29
3	1 594.1	75.29
4	229	26.72
		220.56 = N
M=N/B = 220.56/120 = 1.838		
	$Q_i^{opt}$	
1	724.1*1.838 = 1331	
2	2 602.6*1.838 = 4784	
3	1 594.1*1.838 = 2 930	
4	229*1.838 = 421	

EOQ's kan je zelf narekenen. Uit deze ordergroottes kan je dan de omsteltijd berekenen. Hieruit kan je zien dat je productie haalbaar is, maar de omsteltijd niet dus moet je de EOQ toch opblazen met de factor N/B.

Lagere capaciteit dan EOQ = OK



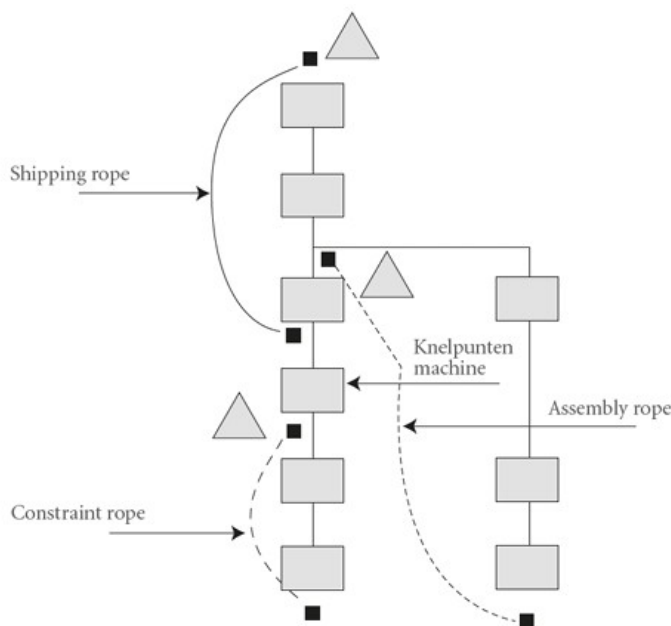
Hogere capaciteit dan EOQ = EOQ opblazen

### 3.4 Het drum-buffer-rope-concept

Het traagste voertuig bepaald hoe snel de file gaat, maar je moet samen blijven. Denk hierbij aan een groep scouts die op pad gaan, die samen moeten aankomen en waarbij de traagste het ritme van de groep bepaald.

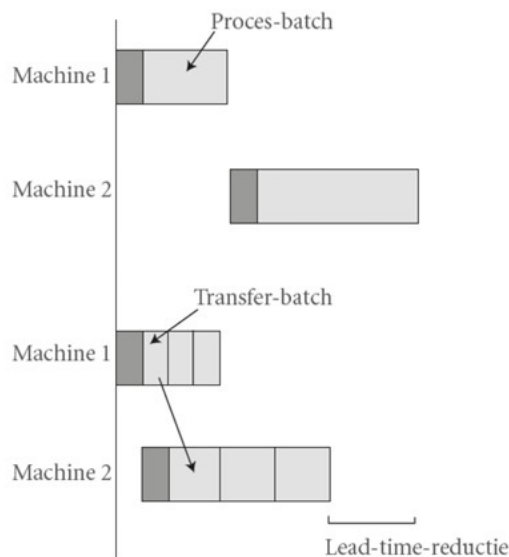
- Drum: "Ritme aangeven" → vaak de traagste
- Rope: Planning en timing van werkorderuitgaven → bv klimmers hangen aan elkaar vast om elkaar tegen te houden en het ritme aan elkaar door te geven
  - o Shipping rope: vanaf het knelpunt tot het einde van de rit, the due date
  - o Assembly rope: een link tussen het ritme van het knelpunt vanaf een ander punt
  - o Constraint rope: vanaf het begin tot het knelpunt, dan weet je wanneer je op het knelpunt moet zijn
  - o Buffer: Veiligheidstijd/Veiligheidsvoorraad: hoe korter het touw, hoe minder buffer

Het ritme wordt dus doorgegeven op een bepaalde manier en hierop moet de buffer worden afgestemd.



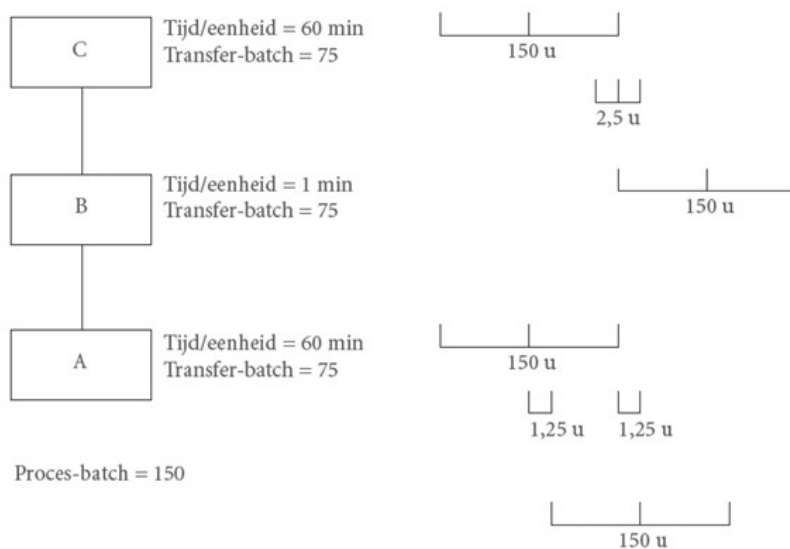
Figuur 11: Het DBR-concept met drie soorten ropes

Het blauwe is het knelpunt, dus moet je berekenen hoeveel tijd je nodig hebt om tot daar te komen. De shipping rope komt achter het knelpunt, wat achterwaarts wordt berekend. Bijvoorbeeld de tijd om tot in Gent te raken waarbij het knelpunt Brussel is. Je moet je dus indekken voor de problemen die voorkomen in het knelpunt.



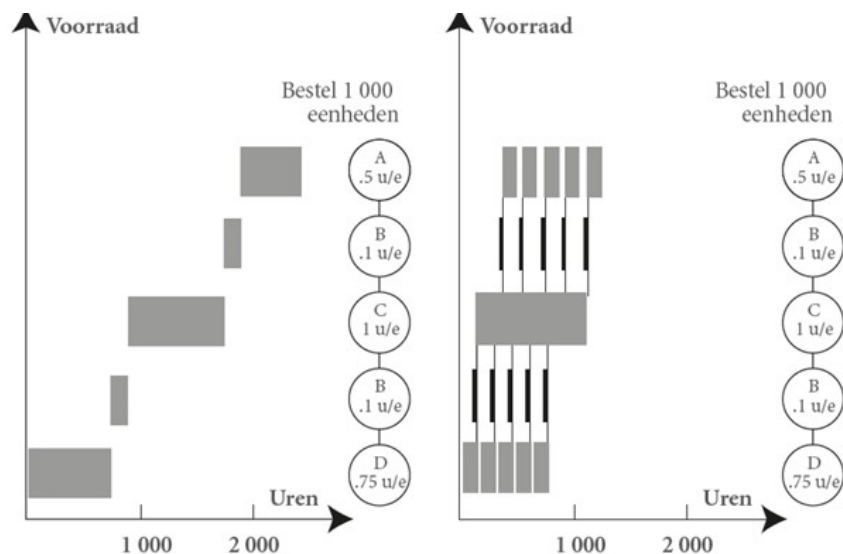
Figuur 12: Voorbeeld van overlapping

Hier zie je nog enkele zijsprongen: als je grote groepen hebt die door het systeem moeten, kan je deze beter doen overlappen bv het doorgeven van een volledige vrachtwagen in plaats van maar een deel ervan. Overlapping is in veel gevallen een manier om de lead-time in te korten. Dit is handig als de tijd korter is dan de tijd nadien.



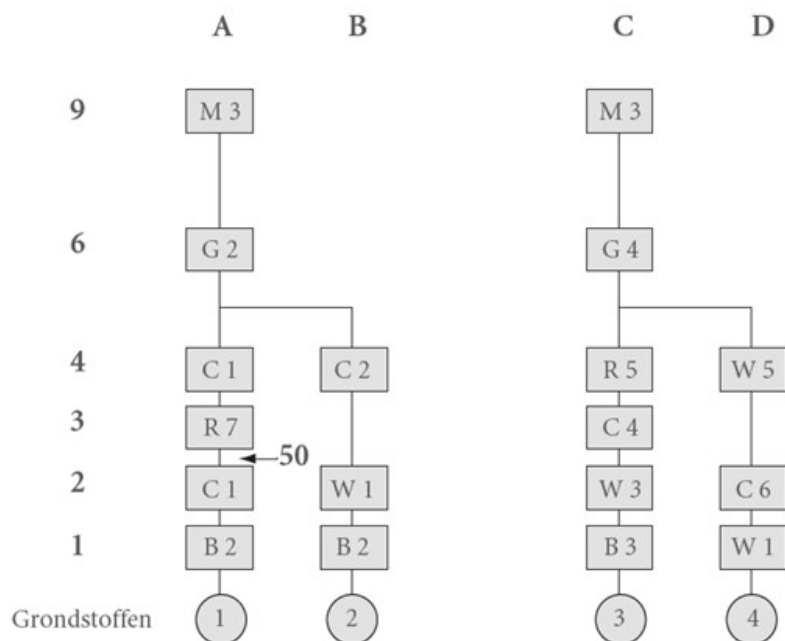
Figuur 13: Voorbeeld van spreiding

Je kan het enkel doorsturen als je het technisch kan splitsen. Je kan overlappen en splitsen/spreiden, wat beiden voordelen kan opleveren.



Figuur 14: Simultane toepassing van overlapping en spreiding

Hier nogmaals een ander voorbeeld waarbij je gaat overlappen en spreiden, waarbij de zaken veel sneller door het systeem kunnen lopen. Je gaat niet wachten tot alles is afgewerkt, maar gaat elk deel dat klaar is reeds doorsturen als het technisch mogelijk is.



Figuur: De processtructuur voor de gevallenstudie DBR

Hierbij bevat de bill of material 2 componenten. De letters zijn de namen van de machines. B = blauw, R = rood, etc. Het getal staat voor de minuten per stuk. De grondstof 1 moet bijvoorbeeld 2 minuten door blauw, 1 minuut door bruin, etc. De 50 is een startconditie, om te zorgen dat het systeem niet volledig leeg is. De R machine is het knelpunt, wat 100% bezig moet zijn elke minuut dat je bezig bent. Hier ga je dus 50 stuks work in process er reeds insteken. Bij manier van spreken ga je vrijdag avond zorgen dat er al iets klaar ligt voor maandag morgen.

Omsteltijd	machinetype
40	B
10	G
80	C <sub>1</sub> en C <sub>2</sub>
0	R
30	M
60	W <sub>1</sub> en W <sub>2</sub>

Product	Vraag per week
A	250
C	130

Hier zie je dat je 1 B machine hebt, 2 C machines etc. De B machine gebruik je op verschillende stappen, maar je kan deze maar 1x benutten. Dus als je springt moet je een opstelling van 40 minuten bij in acht nemen. De R machine heeft geen omsteltijd, om de zaken wat gemakkelijker te maken. Elke omsteltijd op het knelpunt is een throughput verlies. In de praktijk zijn er om het knelpunt vaak wel omsteltijden. We moeten 250 van A en 130 van C maken. Je kan deze ook zelf berekenen door de methode van het begin van dit hoofdstuk.

Berekening bezettingsgraden:

B	$250 \cdot (2+2) = 1000$ $130 \cdot 3 = 390$	1390	57,9%
G	$250 \cdot 2 = 500$ $130 \cdot 4 = 520$	1020	42,5%
C	$250 \cdot (1+1+2) = 1000$ $130 \cdot (6+4) = 1300$	2300	47,9%
R	$250 \cdot 7 = 1750$ $130 \cdot 5 = 650$	2400	100%
M	$250 \cdot 3 = 750$ $130 \cdot 3 = 390$	1140	47,5%
W	$250 \cdot 1 = 250$ $130 \cdot (1+5+3) = 1170$	1420	29,6%

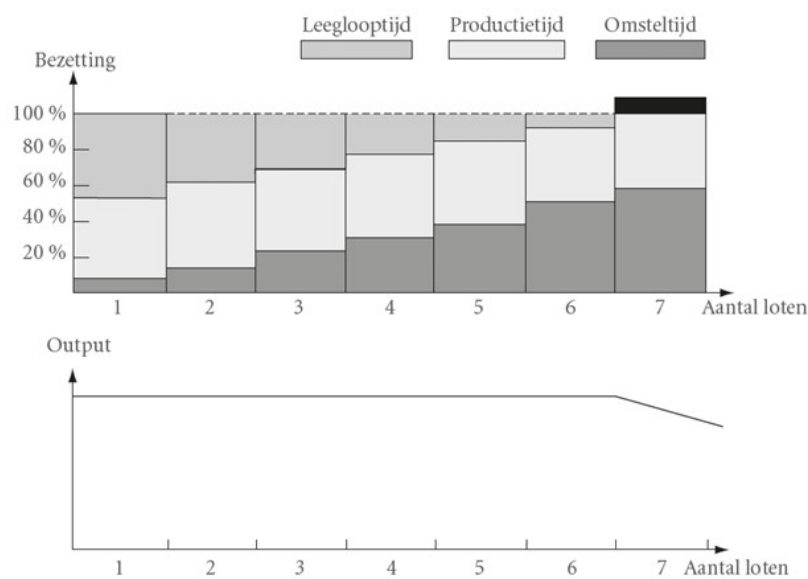
Voor machine B laten we 250 stuks van A en 130 stuks van C los. Hierbij komen we op 1390 minuten, zonder de omstellingen. Deze machine moet dus 57.9% werken. Dit doe je voor alle machines. Als we kijken op het knelpunt, hebben we 2300 minuten nodig om het werk te doen. Puur productief gezien, heb je genoeg met 1 machine. Maar gezien je omsteltijden hebt, kan je je dit niet permitteren. Je moet elke keer dat je een tewerkstelling doet, 1 omstelling doen. Dit zijn 5 omstellingen als je alles in 1x doet. Als je dit dan optelt, heb je 56% van je capaciteit nodig. Gezien je boven de 50% zit, heb je meer dan 1 machine nodig (zie hieronder)



## Bepaling ordergrootte:

Aantal loten	Machine C1 en C2 Aantal omstellingen	Omsteltijd d	Omsteltijd %	Bezettings- graad %	Totaal %
1	5	400	8,33	47,91	56,24
2	10	800	16,66	47,91	64,57
3	15	1200	25,00	47,91	72,91
4	20	1600	33,33	47,91	81,24
5	25	2000	41,66	47,91	89,57
6	30	2400	50,00	47,91	97,91
7	35	2800	58,33	47,91	106,54

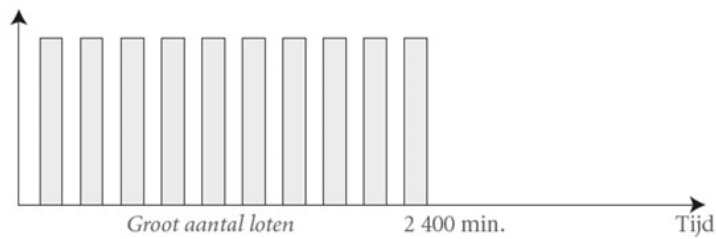
Als we het opsplitsen in kleinere groepen zoals hierboven, zie je dat je uw bezetting kan vergroten. Hierbij mag je niet boven de 100% geraken, omdat je dan veel te veel omsteltijd hebt.



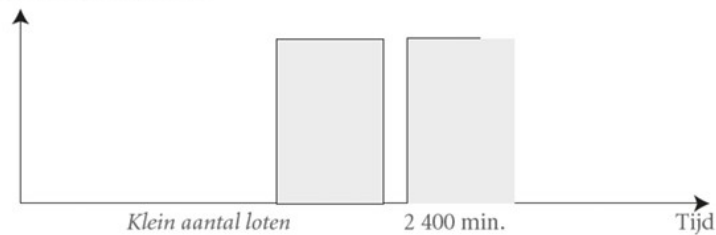
Figuur: Relatie aantal loten en bezetting

Hierboven is het visueel voorgesteld. Vanaf 7 loten ga je boven de 100%, waardoor je productiviteit zal afzwakken. Hier is dan de suggestie dat je het gaat opsplitsen in 5 groepen.

Gebruik van machine G

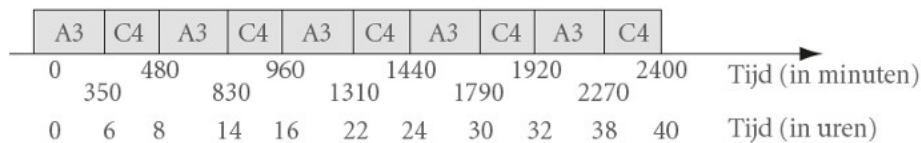


Gebruik van machine G

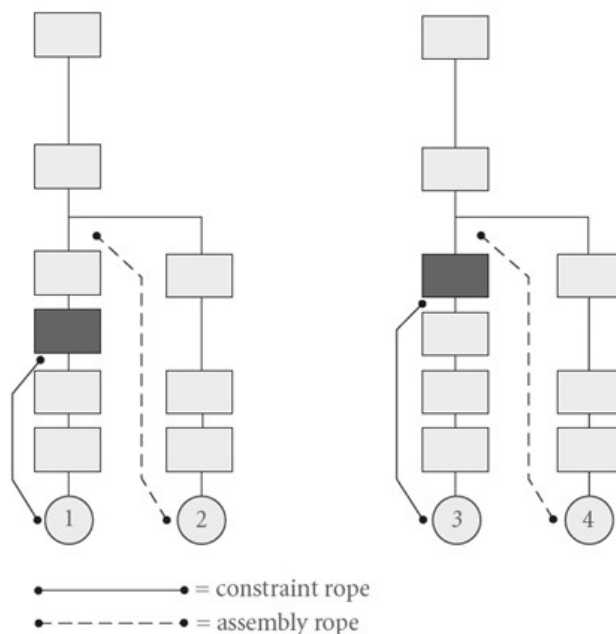


Als je alles in 1 grote groep erdoor duwt, wordt de verpakking ook in 1 maal gedaan. Indien je het opsplijst in groepen, kan je een meer regelmatige spreiding krijgen. Er is dus een reden om het te splitsen, maar hierbij mag je niet te ver gaan. 6 groepen gaan hierbij te spannend worden, dus ga je het verdelen in 5 groepen. Je moet dus wel voor al je machines checken of 5 haalbaar is.

Productieplan knelpunt:



Hier zie je 7min/stuks en 50 stuks dat je na 350 minuten klaar bent in A3. Nadien ga je 26 stuks van C4 verwerken en zo ga je door tot het einde van de week. Hierbij maak je een drum, het ritme van het knelpunt, waarbij iedereen die 50-26-50-26 zal volgen. Hierbij moet je dan zorgen dat de grondstoffen optijd worden gelanceerd. De cijfers eronder in geel zijn de momenten dat het nodig is voor het knelpunt om te beginnen. Hierbij gaat de release dus op hetzelfde ritme als het knelpunt werken.



Figuur: De constraint en assembly rope

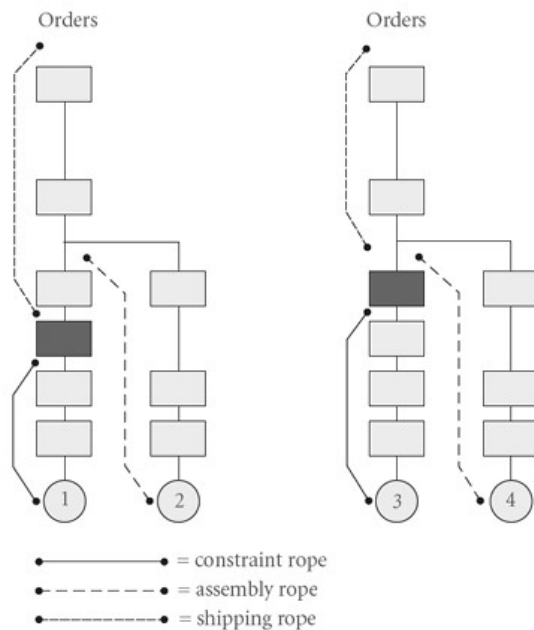
Hoe lang de rope is, zal de buffer bepalen. Je moet er rekening mee houden dat de machine ook op andere tijdstippen nodig is. Het ritme wordt dus gevolgd van het knelpunt naar onder toe en dan terug naar boven.

- Constraint rope: knelpunt ongestoord laten produceren
- Assembly rope: controle goederenstroom naar assemblagepunt
- Buffer: knelpunt of assemblagepunt beschermen

Bewerking	Drum		Grondstof	Rope	
	Hoeveelheid	Starttijdstip		Hoeveelheid	Ogenblik van uitbrenging
A3	50	0	1	0(beginvoorraad)	0
			2	50	0
C4	26	6	3	26	1(6-5)
			4	26	0(6-6)
A3	50	8	1	50	3(8-5)
			2	50	2(8-6)
C4	26	14	3	26	9
			4	26	8
A3	50	16	1	50	11
			2	50	10
C4	26	22	3	26	17
			4	26	16
A3	50	24	1	50	19
			2	50	18
C4	26	30	3	26	25
			4	26	24
A3	50	32	1	50	27
			2	50	26
C4	26	38	3	26	33
			4	26	32

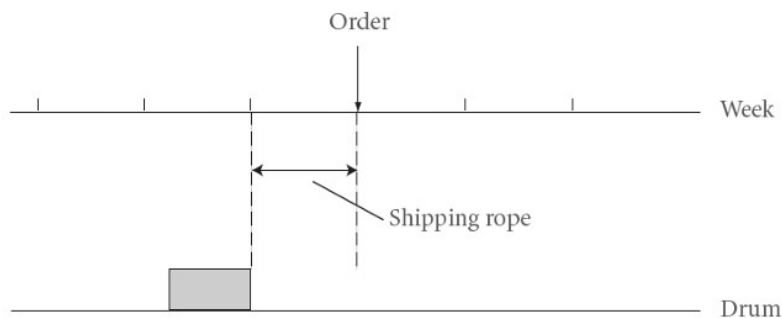
De eerste 2 kolommen is het ritme, de derde kolom zijn de starturen. Dan ga je kijken hoe je dit gaat vertalen naar de grondstoffen. Hierbij heb je grondstof 1 en 2 nodig voor het eindproduct. Voor grondstof 1 heb je 50 begin liggen, maar voor grondstof 2 heb je niets dus moet je ook 50 stuks releasen op tijdstip 0. Voor C4, werd het knelpunt op uur 6 bereikt, dus moet je ook grondstof 3 en 4 erin duwen, waar je voor grondstof 3 5uur gebruikt, en voor grondstof 4 6uur (dit moet gegeven zijn, kunnen we zelf niet berekenen in deze curcus). Op uur 8 kom je terug aan A3. De 5u van grondstof 1 en 3 zijn niet per se hetzelfde, hier is het voor het gemak gelijk genomen.

Het ogenblik van uitbrenging is met moment waarop je e grondstoffen erin gaat steken.



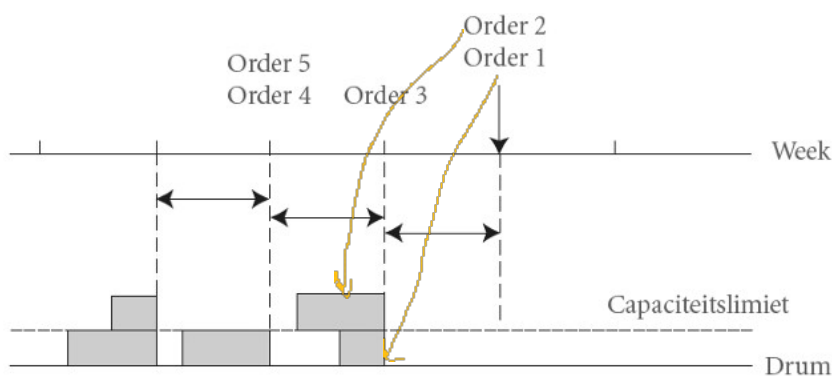
Figuur: Overzicht van alle ropes

We zijn vertrokken van een volledig volume van een gehele week. Indien je een shipping-rope hebt, heb je dit wel. Normaal komt dit van je klantenorders, die dan je drum zullen bepalen. Hierbij moet je dan opnieuw de hoeveelheden vertalen.



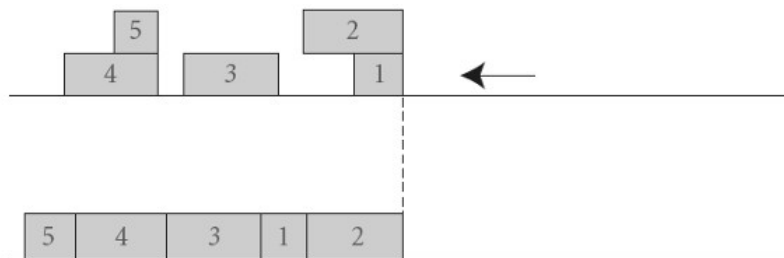
Figuur: Werking van de shipping rope

Shipping rope: Verbinding tussen knelpuntproces en het order, de tijd voordien wanneer je aan het order moet beginnen.



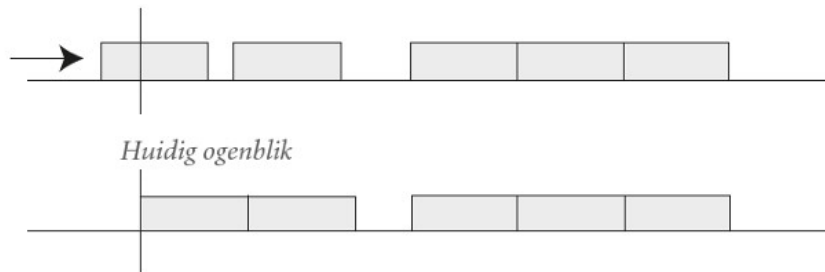
Figuur: Drum met meerdere orders

Als je verschillende orders hebt, heb je verschillende slagen op je knelpunt. Hierbij kan je er maar 1 tegelijkertijd doen, waarbij je de ene voor de andere moet doen. Je begint dus een stuk vroeger dan normaal, omdat je op het knelpunt een beperkte capaciteit hebt.



Figuur: Nivelleren van de drum

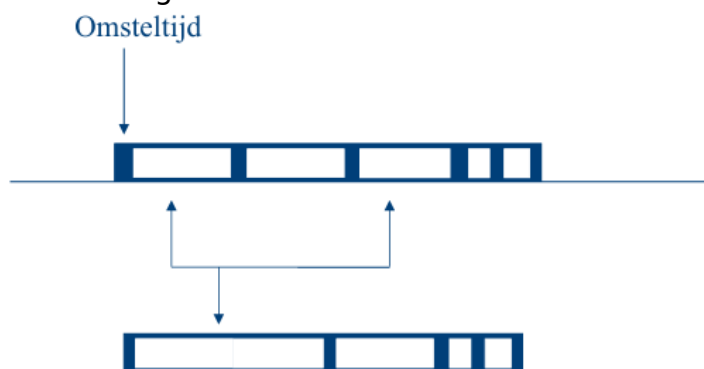
Het enige verschil met het vorige is de lengte van de blokjes, omdat je hier verschillende groottes in klantenorders hebt. Hier gaan we telkens het kleine blokje voor het grote blokje zetten, gezien dit vaak het systeem zal ontlasten.



Figuur: Voorwaartse verschuiving

Als je al die elementen van achter naar voor er gaat induwen, kan het zijn dat je in het verleden terecht kan komen. Dit gaat niet, dus moet je minstens op het huidige tijdstip beginnen en de klant inlichten dat het later zal zijn.

Samenvoegen:



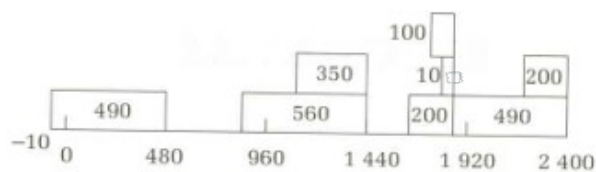
Je kan nog steeds groepen en samenvoegen in een omstelling van het knelpunt. Indien je geen omstellingen hebt in het knelpunt zal dit geen effect geven.

Product	Hoeveelheid	Due-date	Duur op drum(min)
A	70	6(eind dag 6)	490
C	40	6	200
A	30	5	210
C	20	5	100
A	80	4	560
C	70	4	350
A	70	2	490

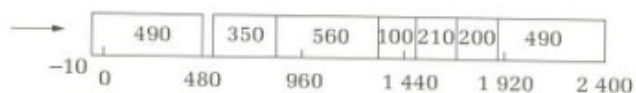
Hier heb je weer netjes de A, C, A, C en de minuten dat ze consumeren van het knelpunt. Hieronder zijn ze gerangschikt van de due-date (wanneer ze af moeten zijn), en hierbij ga je berekenen wanneer ze voorbij het knelpunt moeten zijn. In b noemen we het een ruïne, hoe het zou moeten gebeuren maar dit moeten we effen maken. Aangezien we maar 1 machine hebben moeten we het opnieuw uittekenen naar c. In d zie je dan de drum staan, waarbij deze geheel is opgevuld, waardoor er dus geen orders meer tussen kunnen.



(a)



(b)



(c)

