Samenvatting

Hergebruik van materialen en produkten bestaat waarschijnlijk al zolang er produkten zelf bestaan. Terwijl de klassieke motivatie voor hergebruik de schaarsheid van goederen en materialen is, worden de jaren zestig gekenmerkt door massaproductie en wegwerpproducten ("The throw-away age"). Dit alles werd ondermeer veroorzaakt door nieuw ontwikkelde technologieën en de introductie van goedkope materialen, die het mogelijk maakten om produkten goedkoop te fabriceren. De prijs die de maatschappij daarvoor nog steeds betaalt is een enorme afvalstroom van afgedankte produkten in een tijd waarin de kosten van afvalverwerking sterk toenemen.

Een aantal millieu-rampen eind tachtiger jaren en een groeiend bewustzijn ten opzichte van de ozonlaag en het broeikaseffect leidde ertoe dat wetgevers, producenten en consumenten ervan overtuigd raakten dat het tij moest worden gekeerd. Nu zien we dat, voorzichtig, wegwerpartikelen worden vervangen door herbruikbare produkten. Deze ontwikkeling geeft ruimte aan een interessant en relatief nieuw onderzoeksgebied: *Product recovery management* (de beheersing van produkt-hergebruik).

Product recovery management is een verzameling van management gebieden. De belangrijkste zijn produktontwerp, logistiek, produktie planning en voorraadbeheer, informatie beheersing, financieel beheer, en marketing. Vooral het ontwerp van een herbruikbaar produkt is cruciaal. Immers, het produkt moet na gebruik snel demonteerbaar zijn, het produkt of de afzonderlijke onderdelen moeten kunnen worden getest op bruikbaarheid, en het produkt moet natuurlijk duurzaam zijn. Als het even kan moet het produkt ook nog kosten-efficiënt zijn. Het ligt voor de hand dat het voordeel van hergebruik ligt in het feit dat materiaalkosten kunnen worden uitgespaard. Hier tegenover staan echter de extra kosten van inzameling en opslag. Het positieve 'groene' imago dat een herbruikbaar produkt met zich meedraagt kan teniet worden gedaan door het idee dat het produkt tweedehands, en daarom inferieur, is aan vergelijkbare produkten waarin geen gebruikte materialen

of onderdelen zijn verwerkt.

Ondanks dat bij hergebruik vaak wordt gedacht aan recycling, zijn er meerdere typen te onderscheiden. Terwijl bij recycling slechts de materialen opnieuw worden gebruikt in het produktieproces, blijft bij reparatie en *remanufacturing* de identiteit van het oorspronkelijke produkt of component intact. Bij reparatie wordt een produkt in werkende staat teruggebracht en verkocht op de tweedehands markt. Bij *remanufacturing* zijn de kwaliteitseisen tenminste even hoog als die van een nieuw produkt, zodat de afzetmarkt die van *nieuwe* produkten is. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan de remanufacturing van auto-onderdelen of copieermachines. Welke vorm van hergebruik uiteindelijk wordt gebruikt hangt met name af van de kwaliteit van de produkten die na gebruik bij de producent terugkomen.

Dit proefschrift is een eerste poging om te onderzoeken wat de effecten zijn van produkt-hergebruik, in het bijzonder van produkt-*remanufacturing*, op de voorraadbeheersing. Met dit doel wordt een wiskundig model geformuleerd welke, alhoewel een simplificatie van de werkelijkheid, een aantal processen beschrijft die karakteristiek zijn voor een systeem die de produktie van nieuwe produkten combineert met de *remanufacturing* van gebruikte produkten.

Dat produktieplanning en voorraadbeheersing meer complex is voor systemen met dan zonder remanufacturing, lijkt voor de hand te liggen. Remanufacturing zorgt voor extra voorraadpunten in de produktieketen en meer onzekerheid in de toevoerstromen. Ook de kostenstructuur is uitgebreider en moeilijk te evalueren. De bepaling van de waarde van een geretourneerd produkt is een onderzoeksvraag op zich. Daarnaast spelen nog allerlei interessante interacties tussen het produktie- en het remanufacturing-proces. Het moment van terugnemen van een gebruikt produkt kan zijn gerelateerd aan het moment van aankoop van dat produkt (denk aan lease-contracten) of aan het moment van een vervangingsaankoop. Omdat het assemblageproces wordt gevoed door zowel nieuwe onderdelen als ook door gebruikte onderdelen, waarvan niet altijd zeker is of ze beschikbaar zijn, ontstaan er problemen met betrekking tot *timing*. Als laatste zou het kunnen zijn dat de capaciteit voor remanufacturing ten koste gaat van de oorspronkelijke produktiecapaciteit.

De onderzoeksvragen die dit proefschrift probeert te beantwoorden zijn:

1. *Welke beheersregels zijn er voorhanden om produktie en remanufacturing operaties te coördineren?*

Een literatuuroverzicht toont aan dat de beschikbare wetenschappelijke literatuur op het gebied van voorraadbeheersing en produktieplanning in een remanufacturing omgeving gering is. Bovendien worden in de meeste artikelen op dit gebied bepaalde vooronderstellingen gemaakt die ze nauwelijks relevant maakt voor de praktijk.

2. *Wat zijn de effecten van karakteristieke proces variabelen op de totale kosten?*

De numerieke resultaten laten zien dat de waardering van de voorraad geretourneerde produkten enerzijds en de waardering van de voorraad van nieuw geproduceerde produkten bepalen of remanufacturing moet geschieden volgens een zogenaamd 'push' concept dan wel een 'pull' concept. In de praktijk worden geretourneerde produkten lager gewaardeerd dan nieuwe produkten (minder toegevoegde waarde). In dat geval zou een pull concept de voorkeur verdienen. Correlatie tussen de retour- en de vraagstroom kan een belangrijk effect hebben op de kosten. Een toename van de variabiliteit in retourstromen doet de kosten stijgen. Opvallend is dat een toename in de variabiliteit van de produktie levertijd de kosten juist kan doen dalen.

3. *Welke acties kan een producent die zich inlaat met remanufacturing doen om zijn produktiesysteem meer kosten-efficiënt te maken?*

Belangrijk in deze is om de juiste beheersstrategie te kiezen. Onderzoek toont echter aan dat de optimale strategie zeer complex is en waarschijnlijk lastig te implementeren in de praktijk. Een methode om de retourstroom beter te controleren zou kunnen zijn om af en toe geretourneerde produkten, die op zich opnieuw te gebruiken zijn, niet te verwerken. Op deze manier blijven de voorraden beheersbaar.

4. *Welke methoden kunnen worden gebruikt om snelle en redelijke waarden te vinden voor de beslissingsvariabelen?*

Op dit gebied is nog weinig gedaan. De methoden die in dit proefschrift worden ontwikkeld zijn een eerste stap. Zeker is dat de in de praktijk veel gebruikte '*netting approach*' niet werkt omdat de onderliggende gedachte fundamenteel onjuist is.

5. *Hoe verhouden zich de theoretische bevindingen tot de praktijk?*

Een case studie van remanufacturing bij Volkswagen geeft aan dat er systemen zijn die redelijk goed te beschrijven zijn binnen het framework dat

wordt gepresenteerd in dit proefschrift. De situatie bij Volkswagen is zodanig dat het systeem kan worden beheerst door middel van relatief eenvoudige strategieën en algoritmen.

Dit proefschrift is bedoeld als een eerste aanzet om de wetenschappelijke literatuur op het gebied van *reverse logistics* en remanufacturing te inventariseren en om een aantal quantitatieve en kwalitatieve effecten van remanufacturing op voorraadbeheer aan te geven. Echter, er zal nog veel onderzoek nodig zijn om de vele vragen die open blijven te beantwoorden in dit uitdagende, nieuwe onderzoeksgebied.