

MASTER

Economisch model voor selectieve demontage van samengestelde producten

Overwijk, J.S.

Award date:
1995

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

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

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

**ECONOMISCH MODEL VOOR SELECTIEVE DEMONTAGE
VAN SAMENGESTELDE PRODUCTEN**

Afstudeerproject bij de afdeling Milieutechnologie
van TNO-Milieu en Energie in Apeldoorn

Ing. J.S. Overwijk
Apeldoorn, juni 1995



**ECONOMISCH MODEL VOOR SELECTIEVE DEMONTAGE
VAN SAMENGESTELDE PRODUCTEN**

Afstudeerproject bij de afdeling Milieutechnologie
van TNO-Milieu en Energie in Apeldoorn

Direct betrokkenen (in alfabetische volgorde):

Ir. D. Grootjans	Begeleider TUE
Ing. W.G. Hoenderdaal	Opdrachtgever en begeleider TNO
Dr.Ir. A.J.D. Lambert	Begeleider TUE

Door:	J.S. Overwijk
In opdracht van:	TNO-ME afdeling MiT
Datum:	juni 1995

SHORT ABSTRACT

This report describes an investigation within the Institute for Environmental and Energy Technology of the Netherlands Organization for Applied Scientific Research. The investigation resulted in an economic model for the selective dismantling of mass consumer products. The economic model consists of two parts. The first part is a budgetmodel for calculating a rate per hour programmed in a spreadsheet. The second part is a database in which the disassembly is described. The report gives a solution for calculating the optimal sequence of dismantling based on Mixed Integer Programming.

EXECUTIVE SUMMARY

This report is the result of a research-assignment of the Institute for Environmental and Energy in Apeldoorn to develop an "Economic model for the selective dismantling of mass consumer products". The research-assignment is the last part of my study before graduating at the Management of Science Faculty of the Technical University of Eindhoven.

During past decennium there was a gradually growing awareness that the environmental problems were a coherent complex in which the use of raw materials and the dumping of used materials in the environment create a crucial part. By promoting environmental responsible processing and re-use of waste, a reduction of that waste and its damaging effect were accomplished. This also means saving raw materials.

In order to restrict the burdening of the environment caused by human activities, the Dutch Governmental policy is focused on "Durable Development" as stated in their "National Environmental Policy Plan" [5] (*). Durable development means that a supply of the wants of the current generation should not endanger the possibilities of supplying the wants of the next generation.

One of the aspects of durable development is the waste problem. The "Note concerning Prevention and Reuse of Waste" gives an impression of the policy for prevention and reuse of the waste. Restricting waste is necessary because it is socially, spatially and environmentally more and more unacceptable to dump waste [6]. Furthermore the dumping of waste will be a threat to the human health in the long run. For limiting the waste a preliminary policy is formulated, which restricts the dumping of waste, an increase of incineration and the recycling of waste. In the near future more attention has to be paid to the prevention of waste. Reproduced in percentages it is as follows [7] (*1):

	1988	1994	2000
Landfill	55 %	30 %	10 %
Incineration	10 %	25 %	25 %
Recycling	35 %	40 %	55 %
Prevention		5 %	10 %

The percentages mentioned above are related to the total amount of waste in The Netherlands, which is approximately 133.000.000 ton on a yearly base [8]. The waste is

(*): For [1] to [23] see the references on page 61/62.

(*1): Excluding sludge and manure.

build up from a number of categories. The waste can be divided in process- and product waste. Process waste is waste that is liberated during a product process which is contrary to product waste which is waste due to discarding of a product by the owner. This report does not go into the subject of product waste, but is pointed at the processing of product waste.

Within the product waste category another distinction can be made between singular and complex products. Examples of singular products that are recycled are, amongst others, newspapers and wrapping material. These products are not included in this report. The survey is mainly focused on durable complex consumerproducts. The durable consumerproducts category consists, among other groups, of "white goods" and "brown goods". The "white goods" category consists of: refrigerators, freezers, washing machines, dishwashers, centrifugal machines, dryers, stoves and micro-waves [9]. The "brown goods" consists of: colour televisions, black-white televisions, radio's, amplifiers, record players, compact-disc players and computers. The "white goods" category represents a waste-stream of 89.000 ton a year in The Netherlands, of which cooling- and freezing machinery take up 20.000 ton [10]. The cast-off products of the "brown goods" category is good for a 40.000 ton of waste. Despite the limited amount of waste, caused by these categories of products, it is still of importance to pay attention to its recycling. This is because these products contain injurious materials, for instant the cfk. The cfk is mainly used for cooling systems of refrigerators. Another example are the synthetics that are applied in great varieties in products. Synthetics are injurious for the environment because, during their production certain elements like cadmium, mercury, lead, chromium and zinc are added in order to obtain synthetics with certain qualities.

Another reason for paying special attention to the "brown goods" category, is the fact that the products belonging to this group are part in a growing market. More and more products in this category are assimilated with electronic components and put on the market.

A social development that is applied to durable complex consumer products is to make producers responsible for the retake and processing of their own products. Within the framework of the new "Environment Control Act", actions are taken by a General Measurement of Board which states that an obligatory retract is linked to a re-processing regulation [11].

The Dutch government is also working on formulating rules or already controlling live measurements with regard to the prohibition of dumping productwaste, a prohibition on draining certain injurious components (acid, cfk) and a dumping regulation regarding light shredderfractions, which are for instance liberated during the shredding of carwrecks. Another aspect that takes a part in the reduction of the wastestream are the constant rising costs of dumping and the burning of productwaste.

The described developments are directly related to scrap products that are a part of a survey project on recycling mass consumer products. The project is executed by seven mayor companies all over Europe and is being financed by the European Community. The main goal of this project is to bring about a development of an integral recycling

concept for a company that is based on the processing of electronic consumer products on a large scale. The recycling of products consists of a selective dismantling, a diminishing and separation of liberated materials. The selective dismantling of parts and sub-assemblies is done to facilitate the separation of materials after the dismantling process. Dismantling is applied because it deals with relatively simple workings that are cheap instead of expensive mechanical separations. The dismantling process is succeeded by mechanical reduction and separation when dismantling becomes too intensive and expensive. One condition is that the recycling concept should be based on economical considerations [12].

The TNO part in this project is to set up a database for the recycling of mass consumer products. Arguments for developing such a database are: the ability of describing the selected products within the survey project, finding general problems during the process of dismantling and the ability to exchange information with the project partners. The database is capable of restoring product information with regard to the parts, material, dismantling structure, construction and re-use possibilities. The database is based on a study on manual dismantling of products of the "brown goods" category produced by Sony and IBM. Some examples are; television sets, keyboards (computer), and screens of personal computers.

The graduation-research is mainly focusing on the development of an economical model for selective dismantling of mass consumer products. The first target is to describe the process of the dismantling of products from an economical perspective.

The second target is the development of an economical model, which is linked to a database, in which the dismantling structure is included with a large variety of product data. This supports the decisions concerning selective dismantling of complex products. The last target is to realize an active application in cooperation with a software company.

To gain insight in dismantling processes in reality, we did not only concentrate on the products like tvs, hifi-sets and computers. There is a generalization towards these products, that are involved in this survey, due to the fact there is hardly any experience of the dismantling of these products so far. The research is mainly directed on discrete products (cars, copymachines, electronic equipments, refrigerators). A recycling company of construction and demolition waste is also included in the survey.

To realize the economic model for the selective dismantling of mass consumer products we have looked at it from an economic angle. Economic factors, which influence the dismantling, have also been taken into account. An economic model has been developed, which can be linked to the database at TNO. In order to assign the costs in the economic model a cost calculation technique has been used. The goal is to come to a correct division of the dismantling costs to the products. The way of cost division has been checked by several companies which already started with the regaining of materials, with or without the combination of the reuse or working up "old" parts.

The ready tested model is linked to the database in cooperation with a software company. The selection of decision supporting information from the database can be diagnosed with

the help of queries.

The blackbox method describes the in the research involved dismantling processes with the modelparameters to be distinguished as follows:

- * The price of the product (P_{product} (f/product) before the dismantlingprocess. This price is agreed upon between the owner of the product and the dismantlingcompany or it is a fixed price per unit (dismantlingpremium);
- * The time (T_{product} (time units/product) spent to dismantle the product (t in figure 00 stands for a specific point of time);
- * The costs per time unit (K_{product} (f/time unit). These costs are build up by labour and investments. Costs belonging to these categories are: energycosts, direct labour and overhead. The investmentcosts are write off, interest, maintenance of buildings and machines;
- * The prices of sub-assemblies, parts and materials ($P_{\text{sub-assemblies}}$ (f/product), P_{parts} (f/product) en $P_{\text{materials}}$ (f/product).

The revenue (R_{product} (f/product) of the dismantling of a product is defined as:

$$R_{\text{product}} = P_{\text{product}} - T_{\text{product}} * K_{\text{product}} + P_{\text{sub-assemblies}} + P_{\text{parts}} + P_{\text{materials}}$$

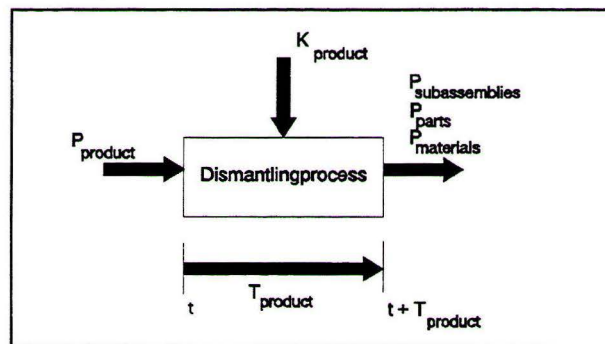


Figure 00: Schematic presentation of a dismantling process.

The different modelparameters are all included in the database except for the calculation of a rate per hour. These costs are translated in an hourrate, concerning a group of activities. The hour-rate has been based on a budgetmodel programmed in a spreadsheet. The database, can be used for the dismantling of mass consumer products, and is programmed according to "Paradox for Windows".

Paradox for Windows is a relational database software. The database is able to store data of the recycling of products. The input is subdivided into the categories: products, sub-assemblies, parts, materials and connections.

The database offers on the outside the possibility to select from the stored data. The selections consist of data concerning:

1. The dismantling of the product;
2. The materials of the product;
3. The economic aspects of dismantling.

In the presented budgetmodel the costs of personnel, investments in machinery and buildings, energy costs and insurance costs are allotted to a group of activities, which distinguish themselves from other dismantling activities. Herewith the mutual differences can be determined by the measure of mechanisation for example. The remaining costs, which can not be allotted to a group of activities, is gathered under the name "overhead". It is possible to indicate the profit, after which the costs are allotted to the direct activities. However the costs are co-dependending on the company where the dismantling is taking place. The hourrates, which are introduced in the database, are determined by a division with the number of budgeted hours. The hourrates are based on a certain standard. If the real amount of dismantled products differs from this standard, the profit or loss has to be adjusted. In the appendix two examples are mentioned, which demonstrate the use of the budgetmodel.

Finally a method has been described in the report, which enables one to determine the optimized dismantling structure of a product. The method is based on Mixed Integer Programming, which enables to make fast calculations for complex situations. This method is applied to the dismantling of an IBM-keyboard by the Mann-organization in Scotland. The result of the calculation shows that the dismantling of the keyboards cover all expenses. The Mann-organization uses manpower to dismantle keyboards with the help of simple handtools.

The most important conclusions with regard to the dismantling companies are:

- * Making profit and continuity are the most important goals of the dismantling companies. If the dismantling process is not profitable, then it will only be applied when the government or an overall organization will guarantee a premium per unit. The municipalities offer a bonus for every dismantled product.
- * The processing of "brown goods" in a profitable way is, in the first place, opposed by the aged parts that are liberated during a dismantling process. This is due to the fact that these parts are only available for dismantling after an average use of ten years. This makes the parts unfit for selling on a second-hand market. Secondly, the materials of "brown goods" that are profitable, are not available. The regained quantities of materials in proportion to other products are also relatively small and hard to separate. This means that the recyclingprocess cannot be financed by the proceeds of the material.

- * Producers of the last category will only recycle their products when it is profitable or when it is imposed by legislation. Only world-wide legislation on compulsory dismantling will take effect, because national legislation causes a transportation of the problem to countries where this rule is not in force.

Recommendation:

In view of the technical developments the processing companies go through, it is for the government and institutions, which control the removing contribution, a well worth consideration to make further differentiations in the premium and thus become independent from the effort that is done by these companies.

Taking account of the waste fase of the product during its design is an aspect producers of "brown goods" should focus on. As a result the share of non-wastage parts that can be used in the production of "new" products, will increase. Besides this, people should apply and use less different kinds of materials, less injurious materials and less complex materials but more easy breakable connections in their products. If the producers are capable of doing so the recycling of discarded products can become more interesting in the future.

The far most important conclusions in reflection to the database are the following:

- * The database has a hierarchical structure. This has with respect to the easy accessibility, the redundancy of data and the maintenance the following characteristics:
 1. For the input of data of a relatively simple product it is necessary to work through a lot of different levels in the database;
 2. It is not possible to select similar data of products, sub-assemblies and parts from the database. This causes redundancy;
 3. Due to the redundancy it is very hard to keep the data of a great number (more than 100) of products up to date.
- * The database is not capable of determining the optimal processing structure of a product just by the entered data independently, by means of a iterative process. The database is only capable of restoring data and presenting that data on the computer screen.

To prevent certain consequences of a hierarchical structure of the database there are the following recommendations:

- * Working through several levels can be simplified by creating the possibility to put sub-assemblies and parts, which occur in a product, in one level. There should be

an indication together with the product and the sub-assemblies which dismantling activity follows the product and the sub-assembly. Concerning sub-assemblies and parts it has to be indicated from which dismantle activity sub-assemblies and parts originates.

- * The problem of redundancy can be solved by using tables in which the products, sub-assemblies and parts, already introduced in the database, are included. The possibility to select these data prevents redundancy, but also saves time that otherwise would be spent on the input of the same data. It also solves the maintenance problem. Now the same data is not stored in different levels and can be changed within one level.

It can be concluded according to the economic model that the application of a product-orientated calculation method in case of the processing companies, for the determination of hourrates is extensive enough. The recyclingprocess is related to one product and the share of "overhead" in the costs in comparison with a production company is relatively small. The second conclusion is that the economic parameters are divided in the database and the budgetmodel.

A product orientated calculation method for determining hourrates is recommended and placing a budgetmodel in the database. The optimalization of the dismantling structure of a product based on Mixed Integer Programming lies within the capacity of the software. This is a supplement to economic calculations inside the database.

Developing an economical model for selective dismantling of complex products is a meaningful action regarding the drive back of the current waste problems. But should re-use of materials and parts be profitable, producers should focus on an application of new designer regulations. The model that is already developed can be of some help when determining the processability of the product in the waste fase in stead of determining recyclingcosts in retrospective.

SAMENVATTING

In dit rapport wordt verslag gedaan van het onderzoek naar een "Economisch model voor selectieve demontage van samengestelde produkten" in opdracht van TNO-Milieu en Energie in Apeldoorn. Het onderzoek is uitgevoerd als afsluiting van de studie Bedrijfskunde aan de Technische Universiteit te Eindhoven.

Gedurende de afgelopen decennia is geleidelijk het bewustzijn gegroeid dat de milieuproblematiek een samenhangend geheel is, waarin gebruik van grondstoffen en lozing van de gebruikte stoffen in het milieu, een cruciaal onderdeel vormen. Door milieuverantwoorde verwerking en eventueel hergebruik van afvalstoffen te bevorderen bereikt men een vermindering van de afvalstoffen en/of de schade die deze veroorzaken, terwijl tevens grondstoffen kunnen worden gespaard.

Om de belasting van het milieu veroorzaakt door het menselijk handelen in te perken heeft het overheidsbeleid in Nederland zich gericht op "Duurzame Ontwikkeling", dit komt tot uiting in het Nationaal Milieubeleidsplan [5] (*). Onder duurzame ontwikkeling wordt verstaan dat in de behoeften van de huidige generatie wordt voorzien zonder daarmee voor toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien. Eén van de aspecten van duurzame ontwikkeling is de afvalstoffenproblematiek. De wijze waarop gestalte wordt gegeven aan het beleid tot preventie en hergebruik van afvalstoffen staat beschreven in de "Notitie inzake Preventie en Hergebruik van Afvalstoffen". Beperking van de afvalstroom is nodig, zegt de notitie, omdat het maatschappelijk, ruimtelijk en milieuhygiënisch steeds onwenselijker wordt afval te storten [6]. Zo ontstaan bij het storten emissies naar bodem en water, die op termijn schadelijk zijn voor de volksgezondheid. Om de afvalstroom te beperken is een voorlopige taakstelling opgesteld, waarbij het storten drastisch moet worden beperkt, het verbranden moet stijgen en hergebruik en nuttige toepassing van afval moet sterk worden opgevoerd. Tot slot moet in de nabije toekomst de eerste prioriteit worden gelegd bij de preventie van afval. Uitgedrukt in percentages ziet dat er als volgt uit [7] (*1):

	1988	1994	2000
Storten	55 %	30 %	10 %
Verbranden	10 %	25 %	25 %
Hergebruik en nuttige toepassing	35 %	40 %	55 %
Preventie		5 %	10 %

De genoemde percentages hebben betrekking op de totale hoeveelheid afval in Nederland

(*): Voor [1] t/m [23] zie literatuurlijst pagina 61/62.

(*1): Exclusief baggerspecie en mest.

van ongeveer 133.000.000 ton op jaarbasis [8]. Het afval is opgebouwd uit een groot aantal categorieën. Grofweg is het afval op te delen in proces- en produktafval. Procesafval is afval dat vrijkomt bij een productieproces in tegenstelling tot produktafval dat ontstaat na afdanking door een gebruiker van een produkt. In dit rapport wordt niet ingegaan op procesafval, maar op de verwerking van produktafval.

Binnen de categorie van het produktafval is nog onderscheid te maken tussen enkelvoudige en samengestelde produkten. Voorbeelden van enkelvoudige produkten, die worden gerecycled, zijn onder andere kranten en verpakkingsmateriaal. Ook deze produkten zijn in deze rapportage niet opgenomen. Het onderzoek heeft zich met name gericht op de duurzame samengestelde consumentenprodukten. Tot de categorie duurzame consumenten-goederen behoren onder andere de groepen "witgoed" en "bruigoed". De categorie witgoed bestaat uit: koelkasten, vrieskasten, wasmachines, vaatwassers, centrifuges, wasdrogers, fornuizen en magnetrons [9]. Tot de categorie bruigoed behoren onder andere: kleurentelevisies, zwart-wit televisies, radio's, versterkers, platenspelers, CD-spelers en computers. De categorie witgoed vertegenwoordigt een afvalstroom van 89.000 ton per jaar in Nederland, waarvan koel- en vrieskasten 20.000 ton voor hun rekening nemen [10]. De afgedankte produkten behorende tot de groep bruigoed zijn goed voor een jaarlijkse hoeveelheid afval van 40.000 ton. Ondanks de beperkte hoeveelheid afval, die wordt veroorzaakt door deze groep van produkten is het toch van belang om aandacht te besteden aan het recyclen hiervan. Omdat in de eerste plaats de produkten schadelijke materialen bevatten. Een voorbeeld van een schadelijk materiaal is de cfk, die wordt gebruikt voor het koelsysteem van koelkasten. Een ander voorbeeld zijn de kunststoffen, die in een grote variëteit worden toegepast in de produkten. De kunststoffen zijn schadelijk voor het milieu, omdat bij de productie van kunststoffen bepaalde elementen, zoals cadmium, kwik, lood, chroom en zink worden toegevoegd voor het verkrijgen van kunststoffen met bepaalde materiaaleigenschappen.

Een andere reden om in het bijzonder aandacht te besteden aan de categorie bruigoed komt voort uit het feit dat de produkten behorende tot deze groep onderdeel zijn van een groeiemarkt. Er komen steeds meer produkten op de markt, die tot deze groep van produkten behoren en er worden steeds vaker elektronische componenten in verwerkt. Een maatschappelijke ontwikkeling die van toepassing is op de duurzame samengestelde consumptiegoederen is het verantwoordelijk stellen van de producenten voor de terugname en de verwerking van de door hen geproduceerde produkten. Binnen het kader van de nieuwe Wet Milieu Beheer is de ontwikkeling gaande van een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB), waarin een terugnameplicht gekoppeld wordt aan een herverwerkingsregeling [11].

Tevens is de overheid bezig met het formuleren van maatregelen of zijn reeds maatregelen van kracht geworden ten aanzien van het verbieden van het storten van produktafval, het verbod op de lozing van bepaalde gevaarlijke componenten (cfk's en accuzuur) en stortverboden ten aanzien van de lichte shredderfractie, die bijvoorbeeld vrijkomt bij het shredderen van autowrakken.

Een ander aspect dat meespeelt om te komen tot een vermindering van de afvalstromen zijn de voortdurende toenemende kosten voor het storten en verbranden van produktafval.

De beschreven ontwikkelingen hebben direct betrekking op de afgedankte producten, die onderdeel zijn van een onderzoeksproject naar de recycling van massa consumptiegoederen. Dit project wordt uitgevoerd door een zevental bedrijven die verspreid zijn over Europa en wordt gefinancierd door de Europese Gemeenschap. Het doel van het project is te komen tot de ontwikkeling van een integraal recyclingconcept voor een bedrijf, dat gebaseerd is op het op grote schaal verwerken van elektronische consumentenproducten. Het verwerken van de producten bestaat uit het selectief demonteren en het verkleinen van samenstellingen en onderdelen en het scheiden van vrijgekomen materialen. Het selectief demonteren van samenstellingen en onderdelen heeft tot doel om de scheiding van de materialen na het demontageproces te vergemakkelijken. Het demonteren wordt toegepast omdat dit bestaat uit eenvoudige bewerkingen, die goedkoop zijn in vergelijking tot het machinaal scheiden van materialen. Het demontageproces wordt opgevolgd door het machinaal verkleinen en scheiden wanneer het demonteren te arbeidsintensief wordt en te veel geld gaat kosten. Een voorwaarde is dat het recyclingconcept gestoeld moet zijn op bedrijfseconomische overwegingen [12].

Het aandeel van TNO in het project bestaat uit de opzet van een database voor de recycling van massa consumptiegoederen. De argumenten om een database te ontwikkelen zijn: het kunnen beschrijven van de geselecteerde producten binnen het onderzoeksproject, het vinden van algemene problemen in het demontageproces en het kunnen overdragen van informatie aan de projectpartners. De database is in staat om relevante produktinformatie ten aanzien van de onderdelen, materialen, demontagestructuur, verbindingen, mogelijkheden tot hergebruik op te slaan. De database is gebaseerd op studies naar de handmatige demontage van producten behorende tot de categorie bruingoed, die worden geproduceerd door Sony en IBM. Voorbeelden van deze producten zijn: televisietoestellen, toetsenborden en monitoren van personal computers.

Het afstudeeronderzoek richt zich met name op het ontwikkelen van een economisch model voor het selectief demonteren van samengestelde producten. Het doel van het onderzoek is in de eerste plaats het beschrijven van het demontageproces vanuit een economische invalshoek. In de tweede plaats het ontwikkelen van een economisch model, dat gekoppeld wordt aan een database, waarin de demontagestructuur is opgenomen met een grote diversiviteit van produktgegevens. Zo kunnen beslissingen worden ondersteund omtrent het selectief demonteren van samengestelde producten. En in de derde plaats het realiseren van een werkende applicatie in samenwerking met een software-bedrijf.

Om inzicht te verkrijgen in de processen, zoals die in de praktijk plaatsvinden, heeft het afstudeeronderzoek zich niet alleen gericht op het bruingoed. De reden voor het veralgemenen van de groep van producten, die betrokken worden in het afstudeeronderzoek, komt voort uit het feit dat tot op heden weinig tot geen ervaring is opgebouwd met de verwerking van bruingoed. Het afstudeeronderzoek heeft zich voornamelijk gericht op de groep van verwerkers, die zich bezig houdt met de verwerking van discrete producten (auto's, kopieerapparaten, elektronische apparatuur, koelkasten). Daarnaast is een verwerker van bouw- en sloopafval opgenomen in het onderzoek.

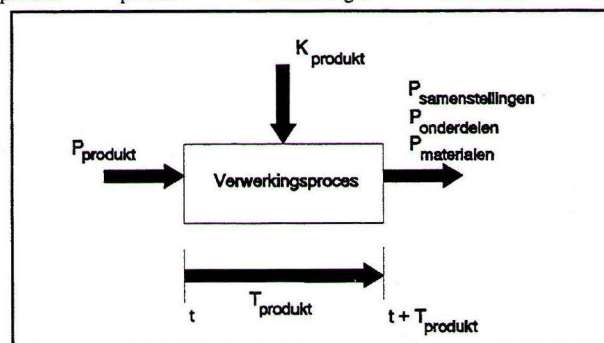
Om te komen tot een economisch model voor de selectieve demontage van samengestelde producten is het demontageproces beschreven vanuit een economische invalshoek, waarbij wordt vastgesteld welke economische factoren van invloed zijn op het demontageproces. Aan de hand hiervan is een economisch model ontwikkeld, dat gekoppeld kan worden aan de in ontwikkeling zijnde database bij TNO. Voor het toewijzen van de kosten in het economische model wordt gebruik gemaakt van een modelmatige kostentoewijzingstechniek. Het doel hiervan is te komen tot een correcte toewijzing van de demontagekosten aan de producten. De manier van kostentoewijzing is getoetst aan een aantal bedrijfsituaties, waarbinnen reeds gestart is met het herwinnen van materialen wèl of nièt in combinatie met het hergebruik of de opwerking van "oude" onderdelen. Het aan de praktijk getoetste model is in samenwerking met een software-bedrijf gekoppeld aan de database. Het distilleren van beslissingsondersteunende informatie uit de database wordt gedaan aan de hand van een aantal te formuleren vraagstellingen.

Bij de systeemkundige beschrijving van de in het onderzoek betrokken verwerkingsprocessen zijn de navolgende modelparameters te onderscheiden:

- * De ingangswaarde van het produkt (P_{produkt} (f/eenheid) vòòr het verwerkingsproces. Deze waarde wordt bepaald door de aanbieder van het produkt in overleg met de verwerker of is een vastgestelde eenheidsprijs (verwijderingsbijdrage);
- * De verwerkingstijd (T_{produkt} (tijdseenheden/produkt) per produkt (t in figuur 0 staat voor een bepaald tijdstip);
- * De kosten per tijdseenheid (K_{produkt} (f/tijdseenheid)). Deze zijn opgebouwd uit de energiekosten, directe arbeidskosten, indirecte arbeidskosten en kapitaalkosten. De kapitaalkosten bestaan uit de afschrijvingen, de rente en het onderhoud van de machines, gebouwen en terreinen.
- * De verkoopprijzen van de samenstellingen, de onderdelen en de materialen ($P_{\text{samenstellingen}}$ (f/eenheid), $P_{\text{onderdelen}}$ (f/eenheid) en $P_{\text{materialen}}$ (f/eenheid).

De toegevoegde waarde (TW_{produkt} (f/eenheid) van de verwerking van een produkt wordt bepaald door:

$$TW_{\text{produkt}} = P_{\text{produkt}} - T_{\text{produkt}} * K_{\text{produkt}} + P_{\text{samenstellingen}} + P_{\text{onderdelen}} + P_{\text{materialen}}$$



Figuur 0: Schematische weergave van het verwerkingsproces.

De onderscheiden modelparameters komen alle terug in de database met uitzondering van de bepaling van de kosten per tijdseenheid. Deze kosten zijn vertaald in een uurtarief, die voor groepen van activiteiten gelden. Het uurtarief is onderbouwd door een budgetmodel geprogrammeerd in een spreadsheet. De database, die ingezet kan gaan worden bij de verwerking van samengestelde massa consumptiegoederen, is geprogrammeerd met behulp van "Paradox for Windows". Paradox for Windows is een relationeel databaseprogramma. De database is in staat om gegevens met betrekking tot de verwerking van produkten op te slaan. De invoergegevens zijn onder te verdelen in de categorieën: produkt, samenstellingen, onderdelen, materialen en verbindingen. De database biedt aan de uitvoerzijde de mogelijkheid om selecties uit te laten voeren op de ingebrachte gegevens. De selecties bestaan uit gegevens met betrekking tot:

1. De demontage van het produkt;
2. De materialen van het produkt;
3. De economische aspecten van het demonteren.

In het voorgestelde budgetmodel worden de kosten van personeel, investeringen in machines en gebouwen, energiekosten en verzekeringskosten direct toegewezen aan groepen van activiteiten, die zich onderscheiden ten opzichte van andere verwerkingsstappen. Hierbij kunnen onderlinge verschillen bepaald worden door de mate van mechanisatie. De overige kosten, die niet direct toegewezen kunnen worden aan een groep van activiteiten worden verzameld onder de naam "indirecte kosten". Het is mogelijk om een winstmarge aan te geven, waarna de kosten volgens een bedrijfsafhankelijke sleutel toegewezen worden aan de directe activiteiten. Gedeeld door het aantal gebudgetteerde uren worden de uurtarieven, die ingevoerd worden in de database, bepaald. De uurtarieven zijn gebaseerd op een normbezetting. Dus wanneer de werkelijke hoeveelheid verwerkte produkten afwijkt van de gebudgetteerde hoeveelheid moet het verlies c.q. de winst worden bijgesteld. In de bijlagen zijn twee voorbeelden, die de werking van het budgetmodel, demonstreren.

In het rapport wordt tot slot een methode beschreven, waarmee men in staat is om de optimale verwerkingsstructuur van een produkt te bepalen. De methode is gebaseerd op lineair programmeren, dat het mogelijk maakt om complexe situaties snel door te rekenen. De methode is toegepast op de verwerking van een IBM-toetsenbord door de Mann-organisatie in Schotland. De verwerking van toetsenborden door de Mann-organisatie vindt plaats met behulp van mankracht ondersteund door eenvoudige hulpmiddelen.

De belangrijkste conclusies ten aanzien van de verwerkingsbedrijven zijn de navolgende:

- * Winstgevendheid en continuïteit zijn de belangrijkste doelen die de bedrijven nastreven. Een verwerkingsproces dat in beginsel niet winstgevend is wordt alleen dan toegepast wanneer de overheid of een overkoepelende instantie garant staat

voor een verwerkingspremie per eenheid produkt.

- * Het op een rendabel wijze verwerken van bruingoed wordt in de eerste plaats tegengegaan door de verouderde onderdelen die vrijkomen bij een verwerkingsproces. Oorzaak hiervan is dat de onderdelen pas na een gemiddelde gebruiksduur van meer dan tien jaar beschikbaar komen voor verwerking. Dit maakt de onderdelen ongeschikt voor de verkoop op een tweede-hands markt. In de tweede plaats is het aandeel materialen in de bruingoed-produkten die wel geld opbrengen niet voorhanden. Tevens zijn de herwonnen hoeveelheden materialen in verhouding tot andere produkten relatief klein en zijn ze moeilijk van elkaar te scheiden. Dit betekent dat het verwerkingsproces niet bekostigd kan worden uit de opbrengsten van de materialen.
- * Producenten van bruingoed zullen alleen maar overgaan tot de verwerking van hun produkten, wanneer dit winstgevend is of wanneer door regelgeving de verplichting tot verwerking wordt opgelegd. Het formuleren van mondiale regelgeving voor verplichte verwerking heeft alleen effect, want wetgeving op landelijk niveau veroorzaakt een verplaatsing van het probleem naar landen waar deze niet van kracht is.

Aanbevolen wordt:

Gezien de technische ontwikkelingen, die de verwerkingsbedrijven doormaken is het voor de overheid en instanties, die de verwijderingsbijdrage beheren een overweging waard om meer differentiatie aan te brengen in de premie en zodoende afhankelijk te stellen van de inspanning die wordt geleverd door een verwerkingsbedrijf.

Het rekening houden met de afvalfase van het produkt tijdens het ontwerpen is een aspect waar producenten van bruingoed zich op moeten gaan richten. Om hiermee het aandeel van (niet slijtagegevoelige) onderdelen, die ingezet kunnen worden bij de productie van "nieuwe" produkten, te laten toenemen. Daarnaast moet men minder verschillende soorten materialen, minder schadelijke materialen, minder samengestelde materialen en meer eenvoudigere te verbreken verbindingen toe gaan passen in de produkten. Wanneer de producenten hiertoe in staat zijn is de verwerking van afgedankte produkten in de toekomst wellicht interessanter.

De belangrijkste conclusies ten aanzien van de database zijn de navolgende:

- * De database is hiërarchisch van opbouw. Dit heeft ten aanzien van de gebruikersvriendelijkheid, de redundantie van gegevens en het onderhoud de navolgende kenmerken van de database tot gevolg:

1. Bij het invoeren van gegevens met betrekking tot een relatief eenvoudig produkt moet een groot aantal computerschermen worden doorlopen;
2. Het is niet mogelijk om overeenkomstige gegevens van produkten, samenstellingen en onderdelen te selecteren, dit veroorzaakt redundantie;
3. Als gevolg van de redundantie is de verzameling van gegevens bij een groot (meer dan 100) aantal ingevoerde produkten niet op een eenvoudige wijze "up-to-date" te houden.

- * De database is niet in staat om zelfstandig door middel van een iteratief proces de optimale verwerkingsstructuur van een produkt te bepalen aan de hand van de ingevoerde gegevens. De database is slechts in staat tot de opslag van gegevens en het presenteren van de ingevoerde gegevens op het computerscherm.

De gevolgen van de hiërarchische opbouw van de database kunnen worden voorkomen door het toepassen van de navolgende aanbevelingen:

- * Het verplicht doorlopen van een groot aantal schermen kan worden voorkomen door het scheppen van de mogelijkheid om de samenstellingen en de onderdelen, die voorkomen in het produkt, in één scherm in te voeren. Bij het produkt en een samenstelling moet dan aangegeven worden welke verwerkingsactiviteit volgt na het produkt en de samenstelling. En bij een samenstelling en een onderdeel moet aangegeven worden uit welke verwerkingsactiviteit een samenstelling en onderdeel voortkomt.
- * Het probleem van redundantie kan worden opgelost door het opnemen van tabellen met daarin produkten, samenstellingen en onderdelen die al zijn ingevoerd in de database. De mogelijkheid tot het selecteren van deze gegevens voorkomt redundantie, maar bespaart ook tijd die zou zijn gespendeerd aan het meerdere malen invoeren van dezelfde gegevens. Door het voorgaande is het onderhoudsprobleem ook opgelost. Dezelfde gegevens zijn niet meer op verschillende plaatsen opgeslagen en kunnen met het wijzigen van één gegevensveld worden aangepast.

Ten aanzien van het economische model voor selectieve demontage van samengestelde produkten kan geconcludeerd worden dat het toepassen van een produktgeoriënteerde calculatiemethode in het geval van de verwerkingsbedrijven voor het bepalen van de uurtarieven is uitgebreid genoeg. Het verwerkingsproces heeft betrekking op één produkt en het aandeel "overhead" in de kosten is relatief klein in vergelijking tot een productiebedrijf. Een tweede conclusie die getrokken kan worden ten aanzien van het economische model is dat de economische parameters verdeeld zijn over de database en een budgetmodel.

Aanbevolen wordt een produkgeoriënteerde calculatiemethode voor het bepalen van de

uurtarieven toe te passen en het budgetmodel onder te brengen in de database. Het optimaliseren van de verwerkingsstructuur van een produkt met behulp van lineair programmeren behoort tot de mogelijkheden van de gebruikte programmatuur. Dit is een aanvulling op de economische berekeningen, die plaatsvinden in de database.

Het ontwikkelen van een economisch model voor de selectieve demontage van samengestelde produkten is een zinvolle exercitie ten aanzien van het terugdringen van de huidige afvalproblematiek. Maar wil het hergebruik van onderdelen en materialen rendabel zijn dan zullen de producenten van produkten zich moeten gaan richten op het toepassen van vernieuwde ontwerpregels. Het ontwikkelde model kan een hulpmiddel zijn bij de bepaling van de verwerkbaarheid van het produkt in de afvalfase in plaats van het achteraf bepalen van de kosten van verwerking.

VOORWOORD

Het navolgende verslag is het resultaat van een afstudeerproject bij de afdeling Milieutechnologie van TNO-Milieu en Energie in Apeldoorn. Het afstudeerproject is uitgevoerd in het kader van m'n studie aan de faculteit Bedrijfskunde van de Technische Universiteit te Eindhoven. Het uitvoeren van een afstudeerproject is het laatste onderdeel van het studieprogramma.

De Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek en in het bijzonder het Milieu en Energie-instituut ben ik dankbaar voor het bieden van de mogelijkheid tot het uitvoeren van een afstudeeropdracht. Het betreft een onderzoek naar de ontwikkeling van een economisch model voor de selectieve demontage van samengestelde produkten. Met name wil ik m'n bedrijfsbegeleider de heer Hoenderdaal danken voor de samenwerking, die geleid heeft tot de verdere ontwikkeling van de database voor recycling van massa consumptiegoederen, en met hem iedereen van de afdeling Milieutechnologie die zorgde voor de prettige werksfeer.

Tot slot ben ik m'n begeleiders, de heer Grootjans en de heer Lambert, van de Technische Universiteit in Eindhoven zeer erkentelijk voor het in mij gestelde vertrouwen in mij en de nodige steun bij de uitvoering van het afstudeerproject.

J.S. Overwijk
Apeldoorn, juni 1995

INHOUDSOPGAVE

		Pagina
Short abstract		I
Executive summary		II
Samenvatting		IX
Voorwoord		XVII
Inhoudsopgave		XVIII
Hoofdstuk 1	Bedrijf	1
1.1	Inleiding	1
1.2	TNO	1
	1.2.1 Doelstelling	1
	1.2.2 Relatie TNO en Overheid	1
	1.2.3 Werkterrein	2
	1.2.4 Inkomsten	2
	1.2.5 Organisatie	2
1.3	TNO-Milieu en Energie	3
1.4	Afdeling Milieutechnologie	3
Hoofdstuk 2	Opdracht	6
2.1	Inleiding	6
	2.1.1 Rol van de overheid in de afvalstoffenproblematiek	6
	2.1.2 Beperkingen ten aanzien van de produktafvalstromen	7
2.2	Onderzoek naar de recycling van massa consumptiegoederen	8
2.3	Opdrachtformulering	9
2.4	Methode van aanpak	10
Hoofdstuk 3	Verwerkingsprocessen in de praktijk	11
3.1	Inleiding	11
	3.1.1 Systeemkundige begrippen	11
	3.1.2 Algemeen model	13
	3.1.3 Algemeen verwerkingsbedrijf	14
	3.1.4 Voorbeeldprodukt	16
3.2	Koelkastenverwerker	18
3.3	Verwerker van elektronische apparatuur	23
3.4	Verwerker van auto's	25
3.5	Verwerker van bouw- en sloopafval	27
3.6	Verwerker van kopieerapparaten	31
3.7	Economische parameters	33

		Pagina
Hoofdstuk 4	Database	34
4.1	Inleiding	34
4.2	Opbouw van de database	34
4.2.1	Invoerzijde van de database	35
4.2.2	Uitvoerzijde van de database	36
4.3	Eigenschappen van de database	40
4.4	Economische parameters in de database	42
Hoofdstuk 5	Economisch model	44
5.1	Doelstellingen economisch model	44
5.2	Benodigde gegevensverzamelingen	44
5.3	Calculatiemethode	47
5.3.1	Produktgeoriënteerde calculatiemethoden	47
5.3.2	Activiteitgeoriënteerde calculatiemethode	48
5.3.3	Budgetmodel	48
5.4	Bepaling van de optimale demontagestructuur	50
Hoofdstuk 6	Conclusies en aanbevelingen	56
6.1	Conclusies	56
6.1.1	Verwerkingsbedrijven en verwerking van produkten	56
6.1.2	Database	56
6.1.3	Economisch model	57
6.2	Aanbevelingen	57
6.2.1	Verwerkingsbedrijven en verwerking van produkten	57
6.2.2	Database	58
6.2.3	Economisch model	58
Nawoord		59
Literatuurlijst		61
Bijlagen		
1. Verwerker van koelkasten (budgetmodel)		63
2. Verwerker van toetsenborden (budgetmodel)		72

HOOFDSTUK 1 Bedrijf

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een algemeen beeld geschetst van de TNO-organisatie, haar doelstellingen en de werkterreinen, waarop zij zich begeeft. Tenslotte wordt een korte omschrijving gegeven van de afdeling, waarbinnen dit afstudeeronderzoek heeft plaats gevonden.

1.2 TNO

1.2.1 Doelstelling

De Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO werd in 1932 opgericht op basis van een speciale wet, die in 1930 werd aangenomen [1] (*). Deze wet werd in 1985 herzien en geldt sindsdien als de publiekrechtelijke basis van TNO.

In de wet wordt de algemene doelstelling van TNO als volgt omschreven:

"De organisatie heeft ten doel ertoe bij te dragen dat op toepassing gericht technisch- en natuurwetenschappelijk onderzoek en daarmee te verbinden sociaal-wetenschappelijk en ander op toepassing gericht onderzoek op doelmatige wijze dienstbaar wordt gemaakt aan het algemeen belang en daarbinnen te onderscheiden deelbelangen."

1.2.2 Relatie TNO en Overheid

In de wet wordt onder meer de relatie van TNO met de overheid geregeld. Die komt er globaal op neer dat TNO een onafhankelijke onderzoekorganisatie is, die op "arm lengte" van de overheid opereert. De organisatie formuleert zelf zijn beleid op het gebied van onderzoekprogrammering en opdrachtenwerving, en het personeels- en zakelijk beleid. De Minister van Onderwijs en Wetenschappen is penvoerend minister voor TNO. Het hoogste bestuurscollege van TNO is de Raad van Toezicht, waarin vertegenwoordigers van het bedrijfsleven, de universiteiten en maatschappelijke groeperingen zitting hebben. De overheid is vertegenwoordigd door een waarnemer. De Raad van Toezicht heeft een status die vergelijkbaar is met die van een Raad van Commissarissen in het bedrijfsleven. De leiding van de organisatie berust bij de Raad van Bestuur. Een speciale relatie met de overheid bestaat ten aanzien van het defensieonderzoek dat binnen TNO wordt uitgevoerd. Daarvoor is de Raad voor het Defensieonderzoek in het leven geroepen.

(*): Voor [1] t/m [23] zie literatuurlijst pagina 61/62.

1.2.3 Werkterrein

TNO richt zich enerzijds op een aantal belangrijke zaken die nauw verwant zijn met de staatszorg zoals: gezondheid, milieu, energie, infrastructuur en defensie en anderzijds op directe ondersteuning van het totale Nederlandse bedrijfsleven. Er bestaat een intensieve interactie met de industriële en dienstverlenende sector. De kennisoverdracht naar het bedrijfsleven kan als een belangrijk onderwerp van staatszorg worden beschouwd. De daarvoor noodzakelijke kennisopbouw bij TNO wordt mede mogelijk gemaakt door financiële steun van het Ministerie van Economische Zaken.

1.2.4 Inkomsten

Een belangrijk deel van de inkomsten van TNO vloeien voort uit contractonderzoek ten behoeve van het bedrijfsleven, de overheid en andere groeperingen, die aan TNO opdrachten verstrekken. Voorts stelt de overheid financiële middelen beschikbaar voor het uitvoeren van speciale onderzoeksprojecten. Hierover worden jaarlijks afspraken gemaakt met de hierbij betrokken departementen. Daarnaast verstrekt de overheid financiële middelen voor het ontsluiten en verkennen van nieuwe onderzoeksgebieden, waarvan de besteding aan eigen initiatief wordt overgelaten.

De omzet in 1993 bedroeg *f* 760 miljoen, een stijging van 4,9 procent ten opzichte van 1992. Het bedrijfsresultaat voor 1993 bedroeg *f* 9,9 miljoen [2].

Wanneer defensieonderzoek, gezondheidsonderzoek en TNO Algemeen, buiten beschouwing blijft, vormt contractonderzoek (inclusief de omzet uit hoofde van de Stimuleringsregeling TNO) 73 procent van de omzet van TNO.

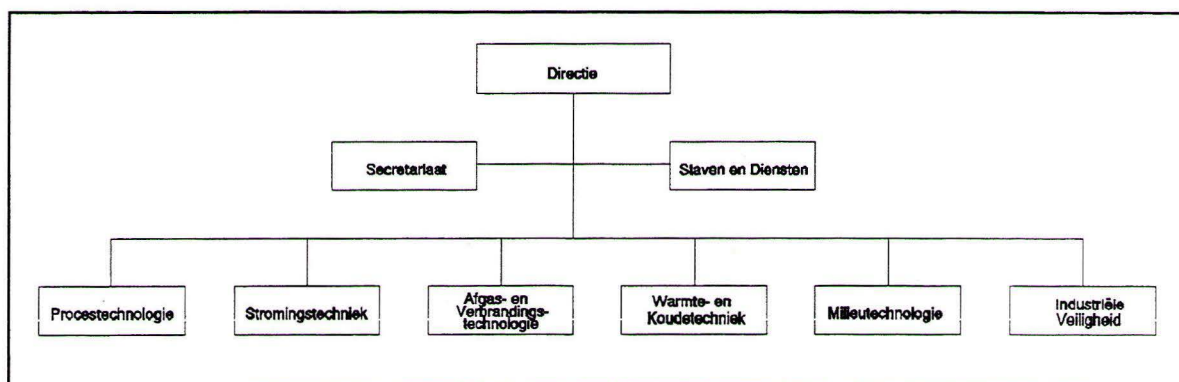
1.2.5 Organisatie

Het onderzoek van TNO vindt plaats in een aantal instituten en laboratoria [1]. Ze zijn verspreid over het hele land. De grootste concentraties bevinden zich in Delft, Rijswijk, Leiden, Zeist en Apeldoorn. Deze onderzoekseenheden zijn gebundeld in een zevental hoofdgroepen, die de volgende namen dragen:

- TNO-Milieu en Energie;
- TNO-Bouw;
- TNO-Industrie;
- TNO-Voeding;
- TNO-Gezondheidsonderzoek;
- TNO-Defensieonderzoek;
- TNO-Beleidsstudies.

1.3 TNO-Milieu en Energie

Bij TNO-Milieu en Energie is de expertise en onderzoekscapaciteit van TNO op het gebied van de milieu- en energieproblematiek en de procestechologie samengebracht [3]. De te onderscheiden deelgebieden zijn terug te vinden in het organogram van TNO-Milieu en Energie (zie figuur 1). Ondanks het feit dat de deelgebieden ondergebracht zijn in afdelingen hebben ze talrijke raakvlakken. Zo spelen procestechnologen een essentiële rol bij het zoeken naar praktische- en economisch haalbare oplossingen voor ons groeiende afvalprobleem. Dat vraagt niet alleen om aanpassing van productieprocessen, maar ook om het ontwerpen van geheel nieuwe processen. TNO heeft een grote praktische ervaring op het gebied van de verbrandings- en scheidingstechnologie. Energie-experts houden zich vooral bezig met de mogelijkheden om in voorkomende situaties en processen het energieverbruik te beperken en waar nodig een nieuwe technologie te introduceren. Wind- en geoënergie zijn belangrijke aandachtsgebieden.



Figuur 1: Organogram van TNO-Milieu en Energie [3].

Het voorkomen, de verspreiding en de eventuele omzetting van vervuilende stoffen in het milieu (lucht, water en bodem) wordt zowel in het veld als in model-ecosystemen bestudeerd. Met geavanceerde analytisch-chemische hulpmiddelen en computersimulatiemodellen wordt eveneens onderzoek verricht. TNO beheert onder meer het grondwatermeetnet in Nederland. Biologen bestuderen de effecten van milieuvreemde stoffen op ecosystemen. Ze zoeken naar milieuvriendelijke methoden om plagen te bestrijden en afval langs biotechnologische weg af te breken of om te zetten. Veiligheidsexperts ontwikkelen beoordelingstechnieken om (milieu)gevaarlijke situaties bij productie, opslag en transport te kunnen voorkomen. Voor calamiteitsituaties ontwerpen ze waarschuwingssystemen en beslissingsondersteunende systemen.

1.4 Afdeling Milieutechnologie

De afdeling Milieutechnologie (MiT) is één van de afdelingen, die onderdeel uitmaakt van TNO-Milieu en Energie. Het werkgebied van de afdeling MiT richt zich op onderzoek

naar apparaten, systemen en werkwijzen ter vermindering van de belasting van het milieu door processen en produkten [3]. De afdeling concentreert zich op:

- voorkomen en verwerken van afval;
- hergebruik van onderdelen en materialen uit afgedankte produkten;
- verminderen van afvalwateremissies;
- sanering van verontreinigde bodem;
- besparing van grondstoffen en proceswater;
- optimalisering en gebruik van milieu-informatiesystemen.

Afvalpreventie en procesgeïntegreerde bestrijding van afval wordt steeds belangrijker. Bij de economische en beleidsmatige aspecten wordt integraal aandacht besteed aan het vinden van optimale oplossingen.

De afdeling MiT staat onder leiding van een afdelingshoofd en is opgedeeld in een viertal werkgroepen. De werkgroepen zijn:

- Werkgroep Emissie- en Afvalanalyse;
- Werkgroep Produkt- en Produktie-afvallen;
- Werkgroep Reststoffen, Bodems en Slibben;
- Werkgroep Water en Gevaarlijke stoffen.

De werkgroepen bestaan uit ongeveer 10 medewerkers onder leiding van een werkgroepleider. De medewerkers van de werkgroep zijn onder te verdelen in de categorieën: projectleiders en projectmedewerkers. De acquisitie van onderzoek valt onder de verantwoordelijkheid van de projectleider. TNO wordt daarnaast ook door de overheid en het bedrijfsleven benaderd voor het uitvoeren van onderzoek. Het inplannen van projectmedewerkers op projecten wordt door de werkgroepleider gecoördineerd.

Het afstudeeronderzoek naar een economisch model voor de selectieve demontage van samengestelde produkten vindt plaats binnen de werkgroep produkt- en produktie-afvallen. De werkgroep heeft onder andere processen/technieken ontwikkeld voor de verwerking van mengsels vormvaste kunststof verpakkingen, afgedankte TV's, NiCd-houdende batterijen, katalysatoren, luierafval en afvallen van accuverwerking [4]. De gehanteerde technieken zijn onder te verdelen in: droogmechanisch, natmechanisch en ontmanteling. Tot de droogmechanische scheidingstechnieken behoort het scheiden met behulp van zifters, zeven en magneten. Een praktische toepassing van een droogmechanische scheidingstechniek is het schiften van het mengsel papier/kunststoffen/textiel/glas/metalen uit het huishoudelijke afval ingezameld in de gemeente Amersfoort met de duobak.

Flotatie, drijf/zink-scheiding en hydrocyclonage zijn technieken, die toegepast worden bij het natmechanisch scheiden. Met behulp van de genoemde natmechanische scheidingstechnieken kunnen onder andere kunststoffen met verschillende dichtheden van elkaar worden gescheiden.

De ontmanteling van produkten is één van de technieken die wordt toegepast bij het

ontleden van samengestelde produkten, zoals bijvoorbeeld auto's, televisietoestellen en personal computers. Het uitwerken van een ontmantelingsvolgorde voor televisietoestellen is een voorbeeld van een ontwikkeling die kan worden gerekend tot het genoemde werkgebied.

HOOFDSTUK 2 Opdracht

2.1 Inleiding

Gedurende de afgelopen decennia is geleidelijk het bewustzijn gegroeid dat de milieuproblematiek een samenhangend geheel is, waarin gebruik van grondstoffen en lozing van gebruikte stoffen in het milieu, een cruciaal onderdeel vormen. Door milieuverantwoorde verwerking en eventueel hergebruik van afvalstoffen te bevorderen bereikt men een vermindering van de afvalstoffen en/of de schade die deze veroorzaken, terwijl tevens grondstoffen kunnen worden bespaard.

2.1.1 Rol van de overheid in de afvalstoffenproblematiek

Om de belasting van het milieu veroorzaakt door het menselijk handelen in te perken heeft het overheidsbeleid in Nederland zich gericht op "Duurzame Ontwikkeling", dit komt tot uiting in het Nationaal Milieubeleidsplan [5]. Onder duurzame ontwikkeling wordt verstaan dat in de behoeften van de huidige generatie wordt voorzien zonder daarmee voor toekomstige generaties de mogelijkheid in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien. Eén van de aspecten van duurzame ontwikkeling is de afvalstoffenproblematiek. De wijze waarop gestalte wordt gegeven aan het beleid tot preventie en hergebruik van afvalstoffen staat beschreven in de "Notitie inzake Preventie en Hergebruik van Afvalstoffen". Beperking van de afvalstroom is nodig, zegt de notitie, omdat het maatschappelijk, ruimtelijk en milieuhygiënisch steeds onwenselijker wordt afval te storten [6]. Zo ontstaan bij het storten emissies naar bodem en water, die op termijn schadelijk zijn voor de volksgezondheid. Om de afvalstroom te beperken is een voorlopige taakstelling opgesteld, waarbij het storten drastisch moet worden beperkt, het verbranden moet stijgen en hergebruik en nuttige toepassing van afval moet sterk worden opgevoerd. Tot slot moet in de nabije toekomst de eerste prioriteit worden gelegd bij de preventie van afval. Uitgedrukt in percentages ziet dat er als volgt uit [7] (*):

	1988	1994	2000
Storten	55 %	30 %	10 %
Verbranden	10 %	25 %	25 %
Hergebruik en nuttige toepassing	35 %	40 %	55 %
Preventie		5 %	10 %

(*): Exclusief baggerspecie en mest.

De genoemde percentages hebben betrekking op de totale hoeveelheid afval in Nederland van ongeveer 133.000.000 ton op jaarbasis [8]. Het afval is opgebouwd uit een groot aantal categorieën. Grofweg is het afval op te delen in proces- en produktafval. Procesafval is afval dat vrijkomt bij een productieproces in tegenstelling tot produktafval dat ontstaat na afdanking door een gebruiker van een produkt. In dit rapport wordt niet ingegaan op procesafval, maar op de verwerking van produktafval.

Binnen de categorie van het produktafval is nog onderscheid te maken tussen eenvoudige en samengestelde produkten. Voorbeelden van eenvoudige produkten, die worden gerecycled, zijn onder andere kranten en verpakkingsmateriaal. Ook deze produkten zijn in deze rapportage niet opgenomen. Het onderzoek heeft zich met name gericht op de duurzame samengestelde consumentenprodukten. Tot de categorie duurzame consumenten goederen behoren onder andere de groepen "witgoed" en "bruigoed". De categorie witgoed bestaat uit: koelkasten, vrieskasten, wasmachines, vaatwassers, centrifuges, wasdrogers, fornuizen en magnetrons [9]. Tot de categorie bruigoed behoren onder andere: kleurentelevisies, zwart-wit televisies, radio's, versterkers, platenspelers, CD-spelers en computers. De categorie witgoed vertegenwoordigt een afvalstroom van 89.000 ton per jaar in Nederland, waarvan koel- en vrieskasten 20.000 ton voor hun rekening nemen [10]. De afgedankte produkten behorende tot de groep bruigoed zijn goed voor een jaarlijkse hoeveelheid afval van 40.000 ton. Ondanks de beperkte hoeveelheid afval, die wordt veroorzaakt door deze groep van produkten is het toch van belang om aandacht te besteden aan het recyclen hiervan. Omdat in de eerste plaats de produkten schadelijke materialen bevatten. Een voorbeeld van een schadelijk materiaal is de cfk, die wordt gebruikt voor het koelsysteem van koelkasten. Een ander voorbeeld zijn de kunststoffen, die in een grote variëteit worden toegepast in de produkten. De kunststoffen zijn schadelijk voor het milieu, omdat bij de productie van kunststoffen bepaalde elementen worden toegevoegd voor het verkrijgen van kunststoffen met bepaalde materiaaleigenschappen. Een andere reden om in het bijzonder aandacht te besteden aan de categorie bruigoed komt voort uit het feit dat de produkten behorende tot deze groep onderdeel zijn van een groeiende markt. Er komen steeds meer produkten op de markt, die tot deze groep van produkten behoren en er worden steeds vaker elektronische componenten in verwerkt.

2.1.2 Beperkingen ten aanzien van de produktafvalstromen

Eén van de ontwikkelingen gericht op het beperken van de produktafvalstromen is het verantwoordelijk stellen van de producenten voor de terugname en de verwerking van de door hen geproduceerde produkten. Binnen het kader van de nieuwe Wet Milieu Beheer is de ontwikkeling gaande van een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB), waarin een terugnameplicht gekoppeld wordt aan een herverwerkingsregeling [11]. De AMvB wordt van kracht voor individuele producenten en importeurs. Als minstens 75% van de producenten en importeurs uit een bepaalde sector de verwijdering van apparatuur en de daarmee gemoeide kosten collectief willen aanpakken, dan kunnen zij in de toekomst een besluit voor het vaststellen van een verwijderingsbijdrage aanvragen. Zo'n besluit is een

wettelijke regeling die voor de hele sector zal gelden. Het houdt in dat de verwijderingskosten in de productprijs mogen worden doorberekend. De opbrengsten worden in een fonds gestort om de kosten te dekken. De overheid streeft ernaar dat deze maatregelen begin 1995 van kracht zullen worden. Ook in ons omringende landen, met name in Duitsland, worden soortgelijke maatregelen voorbereid.

Een terugnameplicht gekoppeld aan een herverwerkingsregeling is nodig om producenten en importeurs diè produkten terug te laten nemen die ze zèlf geproduceerd dan wel geïmporteerd hebben. Anders kan de situatie ontstaan dat producenten, die produkten verwerken die onder het verwerkingsbesluit vallen, geconfronteerd worden met de verwerking van de produkten van producenten, die niet zijn overgegaan tot de verwerking van hun eigen produkten. Deze situatie wordt veroorzaakt doordat het verwerken van afgedankte produkten een niet rendabele activiteit is. Vandaar dat gekozen kan worden voor het instellen van een verwijderingsbijdrage. De verwijderingsbijdrage is bedoeld om de inspanningen, die geleverd worden om het produkt te verwerken, rendabel te maken. Tevens is de overheid bezig met het formuleren van maatregelen of zijn reeds maatregelen van kracht geworden ten aanzien van het verbieden van het storten van produktafval, het verbod op de lozing van bepaalde gevaarlijke componenten (cfk's en accuzuur) en stortverboden ten aanzien van de lichte shredderfractie, die bijvoorbeeld vrijkomt bij het shredderen van autowrakken.

Een ander aspect dat meespeelt om te komen tot een vermindering van de afvalstromen zijn de voortdurende toename van de kosten voor het storten en verbranden van produktafval.

2.2 Onderzoek naar de recycling van massa consumptiegoederen

De beschreven ontwikkelingen in de voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk hebben direct betrekking op de afgedankte produkten, die onderdeel zijn van een onderzoeksproject naar de recycling van massa consumptiegoederen. Dit project wordt uitgevoerd door een zevental bedrijven die verspreid zijn over Europa en wordt gefinancierd door de Europese Gemeenschap. Het doel van het project is te komen tot de ontwikkeling van een integraal recyclingconcept voor een bedrijf, dat gebaseerd is op het op grote schaal verwerken van elektronische consumentenprodukten. Het verwerken van de produkten bestaat uit het selectief demonteren en het verkleinen van samenstellingen en onderdelen en het scheiden van vrijgekomen materialen. Het selectief demonteren van samenstellingen en onderdelen heeft tot doel om de scheiding van de materialen na het demontageproces te vergemakkelijken. Het demonteren wordt toegepast omdat dit bestaat uit eenvoudige bewerkingen, die goedkoop zijn in vergelijking tot het machinaal scheiden van materialen. Het demontageproces wordt opgevolgd door het machinaal verkleinen en scheiden wanneer het demonteren te arbeidsintensief wordt en te veel geld gaat kosten. Een voorwaarde is dat het recyclingconcept gestoeld moet zijn op bedrijfseconomische overwegingen. Verder richt men zich bij het onderzoek op het hergebruiken van waardevolle kunststoffen en het minimaliseren van het aandeel gevaarlijk afval. Tot slot worden

binnen het project thermische processen ontwikkeld om de milieu-onvriendelijke materialen in de kunststoffen te isoleren en de monomeren waaruit de kunststoffen zijn opgebouwd te herwinnen. Ieder bedrijf voor zich voert een deel van het onderzoek uit, dat aansluit bij het specialisme van het bedrijf [12].

Het aandeel van TNO in het project bestaat uit de opzet van een database voor de recycling van massa consumptiegoederen. De argumenten om een database te ontwikkelen zijn: het kunnen beschrijven van de geselecteerde produkten binnen het onderzoeksproject, het vinden van algemene problemen in het demontageproces en het kunnen overdragen van informatie aan de projectpartners. De database is in staat om relevante produktinformatie ten aanzien van de onderdelen, materialen, demontagestructuur, verbindingen, mogelijkheden tot hergebruik op te slaan. De database is gebaseerd op studies naar de handmatige demontage van produkten behorende tot de categorie bruingoed, die worden geproduceerd door Sony en IBM. Voorbeelden van deze produkten zijn: televisietoestellen, toetsenborden en monitoren van personal computers. Het Oostenrijkse onderzoekscentrum Seibersdorf en een Duitse vestiging van Sony hebben onderzoek gedaan naar het ontwikkelen van gerobotiseerde demontagelijnen voor de genoemde produkten.

Het onderzoek naar de identificatie van kunststoffen, die toegepast zijn op de hiervoor genoemde produkten, door middel van infrarood en laserspectroscopie wordt uitgevoerd door de Fraunhofer Gesellschaft, een Duits onderzoeksinstituut. General Electric Plastics, een producent van kunststoffen, zorgt voor de verstrekking van informatie ten aanzien van de kunststoffen, die onderzocht gaan worden. Verder ondersteunt dit bedrijf het onderzoek met technologische en economische randvoorwaarden die gebaseerd zijn op haar ervaring met recycling.

De Fraunhofer Gesellschaft bestudeert de thermische afbraak van kunststoffen en brandvertragers onder kritische omstandigheden in water.

De deelname van TNO in het Europese onderzoek naar de recycling van massa consumptiegoederen heeft geresulteerd in de ontwikkeling van een database. Deze database is tot op heden alleen geschikt voor de opslag van produktinformatie. De produktinformatie bestaat uit de demontagestructuur, het gewicht van het produkt, de gewichten van de samenstellingen, de gewichten van de onderdelen, de materialen, de demontagetijden, enzovoort. Door bedrijfseconomische gegevens toe te voegen aan de database wil TNO uitspraken kunnen doen over de wijze van demonteren van samengestelde produkten, zoals die door Sony en IBM worden gehanteerd.

2.3 Opdrachtformulering

Het afstudeeronderzoek richt zich met name op het ontwikkelen van een economisch model voor het selectief demonteren van samengestelde produkten. Het doel van het onderzoek is in de eerste plaats het beschrijven van het demontageproces vanuit een economische invalshoek. In de tweede plaats het ontwikkelen van een economisch model, dat gekoppeld wordt aan een database, waarin de demontagestructuur is opgenomen met

een grote diversiviteit van produktgegevens. Zo kunnen beslissingen worden ondersteund omtrent het selectief demonteren van samengestelde produkten. En in de derde plaats het realiseren van een werkende applicatie in samenwerking met een software-bedrijf.

2.4 Methode van aanpak

Om inzicht te verkrijgen in de processen, zoals die in de praktijk plaatsvinden, heeft het afstudeeronderzoek zich niet alleen gericht op het bruingoed, zoals dat in het Europese onderzoek het geval is. De reden voor het veralgemeniseren van de groep van produkten die betrokken wordt in het afstudeeronderzoek, komt voort uit het feit dat tot op heden weinig tot geen ervaring is opgebouwd met de verwerking van bruingoed. Het afstudeeronderzoek heeft zich voornamelijk gericht op de groep van verwerkers van discrete samengestelde produkten (auto's, kopieerapparaten, elektronische apparatuur, koelkasten). Daarnaast is een verwerker van bouw- en sloopafval opgenomen in het onderzoek. Om te komen tot een economisch model voor de selectieve demontage van samengestelde produkten zal het demontageproces moeten worden beschreven vanuit een economische invalshoek, zodat vastgesteld kan worden welke economische factoren van invloed zijn op het demontageproces.

Vervolgens dient het bedrijfseconomisch model ontwikkeld te worden, dat gekoppeld kan worden aan de in ontwikkeling zijnde database bij TNO. Voor het toewijzen van de kosten in het economische model wordt gebruik gemaakt van een modelmatige kostentoe-wijzingstechniek. Het doel hiervan is te komen tot een correcte toewijzing van de demontagekosten aan de produkten. De manier van kostentoewijzing zal getoetst worden aan een aantal bedrijfsituaties, waarbinnen reeds gestart is met het herwinnen van materialen wèl of nièt in combinatie met het hergebruik of de opwerking van "oude" onderdelen.

Het aan de praktijk getoetste model wordt in samenwerking met een software-bedrijf gekoppeld aan de database. Het distilleren van beslissingsondersteunende informatie uit de database wordt gedaan aan de hand van een aantal te formuleren vraagstellingen.

HOOFDSTUK 3 Verwerkingsprocessen in de praktijk

In dit hoofdstuk worden een aantal recente verwerkingsprocessen van produkten, die zich aan het einde van hun levenscyclus bevinden, besproken. Achtereenvolgens zijn dat de processen van een koelkastenverwerker, een verwerker van elektronische apparatuur, een verwerker van auto's, een verwerker van bouwafval en een verwerker van kopieerapparaten. De reden voor het toepassen van een systeemkundige benadering van de bedrijfsprocessen, zoals die plaatsvinden binnen de genoemde bedrijven ligt besloten in het feit, dat nadat de bedrijven bezocht waren er een onvolledig beeld was ontstaan, van de activiteiten die de bedrijven uitvoeren bij de verwerking van de produkten in tegenstelling tot de "input" en de "output" van de verwerkingsbedrijven.

Alvorens in te gaan op de verschillende bedrijfsprocessen worden een aantal systeemkundige begrippen uitgelegd. Vervolgens wordt per bedrijfsproces een korte beschrijving gegeven van de activiteiten die plaatsvinden binnen het bedrijf ten aanzien van de verwerking van de produkten. Verder wordt het bedrijfsproces beschreven aan de hand van een aantal variabelen, waarmee een maximaliseringsfunctie kan worden gevormd. De maximaliseringsfunctie, ook wel objectfunctie genoemd, heeft betrekking op de ingangs- en de uitgangsvariabelen van het proces. Bij het beschrijven van de bedrijfsprocessen wordt geen uitspraak gedaan over de wijze waarop het proces wordt uitgevoerd. In hoofdstuk 5 wordt een methode geïntroduceerd, die de te nemen beslissingen bij de verwerking van een produkt kan onderbouwen.

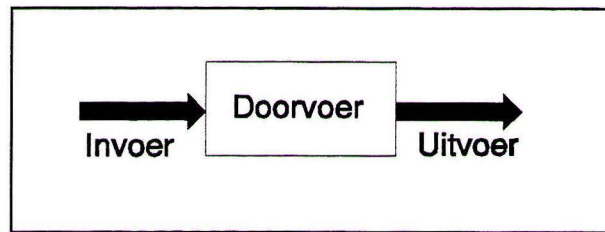
3.1 Inleiding

Een aantal begrippen die worden gebruikt in de systeemkunde worden in de navolgende paragraaf toegelicht. Deze begrippen worden vervolgens toegepast op de bedrijven, die zich bezighouden met de verwerking van produkten aan het einde van hun levenscyclus.

3.1.1 Systeemkunde begrippen

Onder een *stysteem* wordt een, afhankelijk van en door de onderzoeker gesteld doel, binnen de totale werkelijkheid te onderscheiden verzameling elementen verstaan. Deze elementen hebben onderlinge relaties en (eventueel) relaties met andere elementen uit de totale werkelijkheid [13].

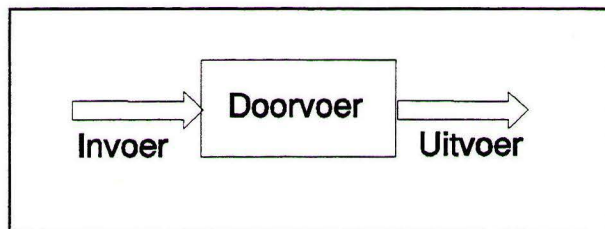
De elementen van een systeem beschikken over *eigenschappen*, die bepaald worden door de invoer, doorvoer en de uitvoer van het proces. Om invloed te kunnen uitoefenen op de uitvoer van een systeem of een element van een systeem worden de eigenschappen van de invoer en de doorvoer veranderd, zodat de uitvoer over eigenschappen beschikt, die gewenst zijn. De meest eenvoudige voorstelling van zo'n systeem, waarop steeds teruggekomen wordt is:



Figuur 2: De materiestroom binnen een systeem [13].

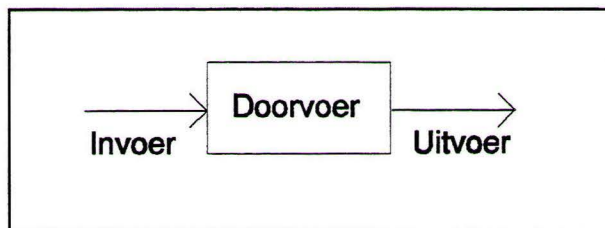
Dit beeld is gebaseerd op de materiestroom, die bij een productiebedrijf bestaat uit grondstoffen, die het systeem ingaan en halffabrikaten en producten, die het systeem verlaten.

In bepaalde gevallen is het duidelijker om te kijken naar de energiestroom binnen een systeem, die als volgt wordt afgebeeld:



Figuur 3: De energiestroom binnen een systeem [13].

De stuurkunde abstraheert nog verder en gebruikt als de meest elementaire voorstelling, de informatiestroom.



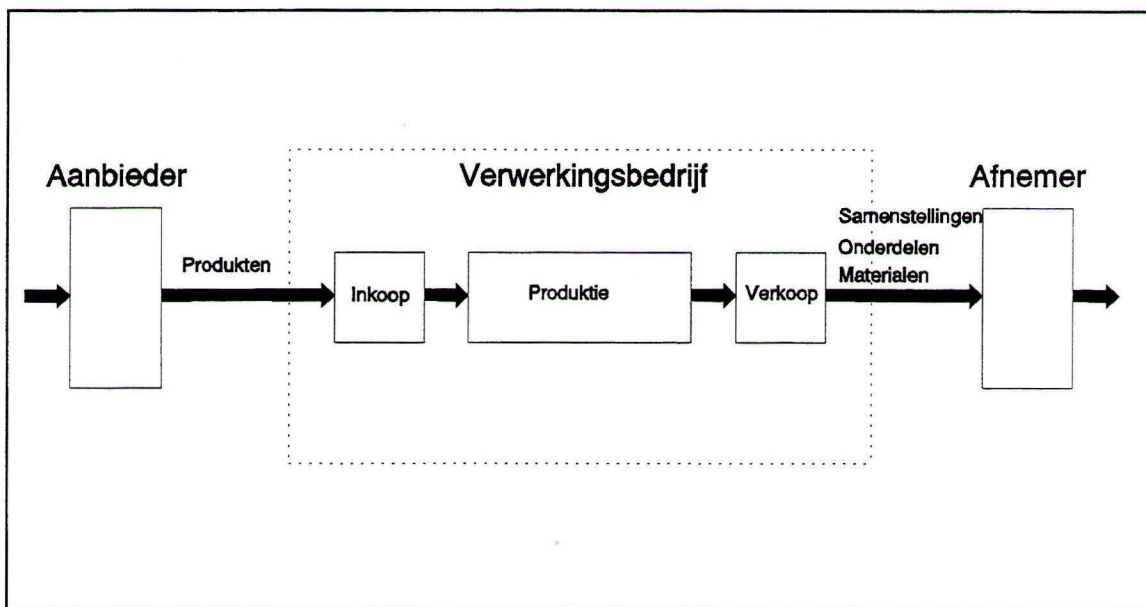
Figuur 4: De informatiestroom binnen een systeem [13].

Een systeem, die opgebouwd is uit de voorgaande drie stromen, is onlosmakelijk verbonden met zijn omgeving. De omgeving van een systeem maakt onderdeel uit van de totale werkelijkheid, die in de systeemkunde wordt aangeduid met de term *universum*. Omdat nooit alle elementen uit de totale werkelijkheid directe relaties hebben met de elementen van het beschouwde systeem onderscheidt men nog het begrip *omgeving*. In principe is de omgeving van het systeem die verzameling objecten en subjecten van het universum die wel invloed uitoefenen op de elementen van het systeem, maar er geen deel

van uitmaken. De omgeving is een deel van het universum.

3.1.2 Algemeen model

Het algemene concept van het verwerken van afgedankte samengestelde consumptiegoederen wordt weergegeven in figuur 5. Het systeem bestaat uit een verwerkingsbedrijf van produkten, die aan het einde van hun levenscyclus zijn gekomen. Onder het einde van de levenscyclus wordt verstaan, dat het produkt in z'n huidige vorm niet meer in staat is de functie te vervullen, die de consument van het produkt verwacht. In de figuur wordt een aanbieder, een verwerkingsbedrijf en een afnemer weergegeven, die verbonden zijn met vetgedrukte pijlen (de materiestroom). Het verwerkingsbedrijf is opgedeeld in een drietal functies, die aangegeven zijn met inkoop, productie en verkoop.



Figuur 5: Algemeen model voor de verwerking van produkten.

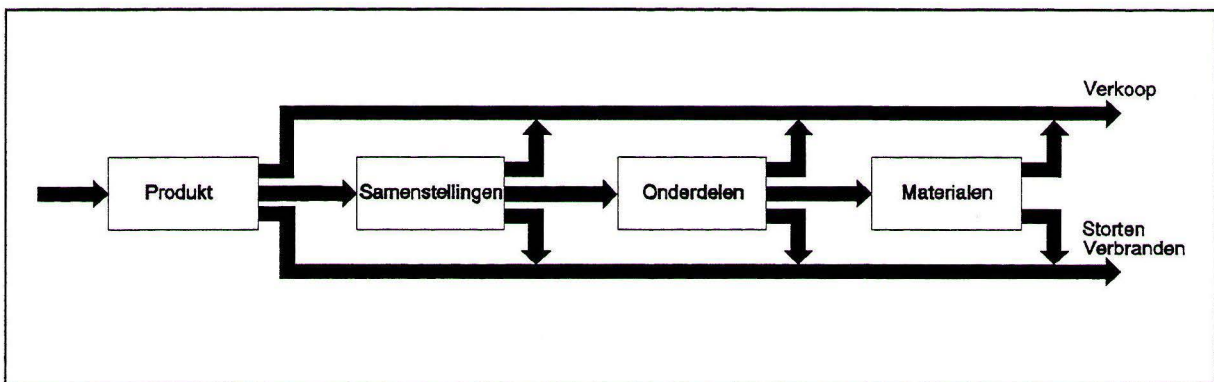
De aanbieders van afgedankte produkten zijn bedrijven, overheidsinstellingen en particulieren. Bij de aanbieders vindt over het algemeen al een voorselectie plaats ten aanzien van de aan te bieden goederen. Een voorbeeld hiervan is een gemeente, die belast is met het inzamelen van huishoudelijk afval. Tussen het aangeboden afval bevinden zich koelkasten, die door de gemeente gescheiden worden gehouden van het overige afval. De verzamelde koelkasten worden vervolgens aangeboden aan een verwerkingsbedrijf van koelkasten. Een ander aspect dat vooraf gaat aan het doen van een voorselectie is de sloop van het goed of het demonteren van bepaalde onderdelen. Een voorbeeld hiervan is de sloop van een gebouw, dat vervolgens als puin wordt aangeboden bij het verwerkingsbedrijf.

De prijs, waartegen de aangeboden produkten worden verwerkt, wordt bepaald tussen de aanbieder en het verwerkingsbedrijf. Afhankelijk van de goederen moet voor de verwer-

king betaald worden of betaald het verwerkingsbedrijf voor de aangeboden produkten. In het geval van de koelkasten betaald de gemeente een vast bedrag per koelkast voor de verwerking aan het verwerkingsbedrijf.

Vervolgens wordt het produkt verwerkt, waarbij samenstellingen, onderdelen en materialen ontstaan (zie figuur 6), die worden doorverkocht aan afnemers. De afnemers bestaan in het gunstigste geval uit bedrijven, die de vrijgekomen componenten toepassen bij het repareren van produkten of het produceren van nieuwe produkten. Het niet bruikbare deel van de vrijgekomen componenten zal worden gestort of verbrand.

Tijdens het verwerken van de produkten zijn de navolgende verwerkingsmogelijkheden te onderscheiden: het produkt wordt in z'n geheel verbrand of gestort, het produkt wordt verkocht, van het produkt worden samenstellingen gedemonteerd en het restant van het produkt wordt verkocht danwel verbrand of gestort. Het afscheiden van samenstellingen van een produkt kan om twee redenen plaatsvinden. Ten eerste wanneer er sprake van waardevermeerdering is tussen het ingangsprodukt en de verkregen samenstelling en de rest van het produkt. In de tweede plaats wanneer de samenstelling milieuschadelijke stoffen bevat. Bij het verder verwerken van de samenstellingen tot onderdelen en materialen zijn dezelfde verwerkingsmogelijkheden te onderscheiden dan bij het produkt.



Figuur 6: Degradatieschema van een afgedankt produkt.

3.1.3 Algemeen verwerkingsbedrijf

De invoer van een verwerkingsbedrijf bestaat uit: het ingangsprodukt c.q. het ingangsmateriaal, het kapitaal (investeringsgoed), de arbeid, de informatie en de energie. In het geval van het verwerkingsbedrijf zal er over het algemeen sprake zijn van een ingangsprodukt, dat omgezet wordt in een uitgangsmateriaal dat al of niet verder wordt bewerkt.

De relatie van het systeem met de omgeving wordt in het geval van het verwerkingsbedrijf bepaald door het transport van de produkten naar het bedrijf en het transport van de materialen en of her te gebruiken onderdelen naar de afnemer. Het transport van en naar de onderneming valt niet binnen de systeemgrenzen. Bij het opzetten van een economisch model is de inzamel- en distributiestructuur buiten beschouwing gelaten gezien de complexiteit.

Bij het beschrijven van de processen die zich afspelen in de verwerkingsbedrijven van samengestelde produkten aan het einde van hun levenscyclus worden de materiestromen en de eigenschappen van de materiestromen toegelicht. De energie- en informatiestromen worden buiten beschouwing gelaten bij de beschrijvingen van de verwerkingsprocessen. De reden voor het niet verwerken van de energie- en informatiestromen in de systeemkundige benadering van de verwerkingsprocessen komt voort uit het feit dat de materieestroom de belangrijkste factor is in het bepalen van de optimale verwerkingsvolgorde van een produkt. Met name de financiële waarde van de materiestromen zijn van belang. Evenals de financiële middelen, die voor de verwerking van de produkten worden ingezet. De kosten die nodig zijn om de energie- en informatiestromen in stand te houden mogen echter niet worden verwaarloosd. Het doel van de organisaties, die zich bezig houden met het verwerken van de produkten, is het behalen van een financieel voordeel bij de uitoefening van de bedrijfsactiviteiten.

Bij het verwerken van een produkt worden de volgende drie elementen onderscheiden: het verwerken van het produkt, het verkleinen van het produkt en het scheiden van de materialen. Het verwerken van het produkt bestaat uit het demonteren en het sorteren van de samenstellingen en onderdelen op basis van gelijksoortigheid van materialen of functionaliteit. Vervolgens worden de samenstellingen en onderdelen die geschikt z'n om hun deelfuncties te vervullen in een ander produkt, opgeslagen. De overige samenstellingen en onderdelen worden gemalen om vervolgens de materialen af te scheiden. In bepaalde gevallen wordt direct begonnen met het vermalen van het aangeboden produkt (een voorbeeld hiervan is de verkleining van sloopafval met een shredderinstallatie). De vrijgekomen materialen worden opgeslagen om vervolgens doorverkocht te worden aan bedrijven, die de materialen nog na moeten bewerken alvorens ze ingezet kunnen worden in het productieproces. Een laatste processtap van de materialen bij een verwerkingsbedrijf zou kunnen bestaan uit het verkleinen van materialen (een voorbeeld is het granuleren van kunststoffen), die vrijgekomen zijn bij het verwerken van produkten. Bij de modelmatige beschrijving kan gebruik worden gemaakt van lineaire programmering. Het toepassen van lineair programmeren voor het beschrijven van de verwerkingsprocessen maakt het mogelijk om snel complexe situaties door te rekenen en te optimaliseren.

Voor het verduidelijken van de begrippen en de wijze van aanpak wordt in de navolgende paragraaf een voorbeeldprodukt beschreven.

3.1.4 Voorbeeldprodukt

Stel een produkt X met de navolgende eigenschappen:

Het ingangsprodukt:

- Het produkt heeft een ingangsprijs van P_x (f /eenheid). Met de ingangsprijs wordt de prijs bedoeld, die de aanbieder van het te verwerken produkt betaald aan de verwerker of de prijs die de verwerker betaald aan de aanbieder van de te verwerken produkten;
- De massa van een produkt is gelijk aan W_x (kg/eenheid);
- De hoeveelheid verwerkt produkt per tijdseenheid t is gelijk aan Q_t (eenheid/ t).

Tijdens de doorvoer wordt van de volgende factoren gebruik gemaakt, dan wel verbruikt:

- De energiekosten (E). E_k (f /eenheid) zijn de energiekosten voor het verwerken van een produkt;
- De kosten van directe arbeid voor het verwerken van een produkt worden weergegeven met het symbool L_k (f /eenheid) en de indirecte arbeidskosten ("overhead") met O_k (f /eenheid);
- De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimtes en bedrijfsterreinen voor een produkt komen overeen met het symbool C_k (f /eenheid).

De energiekosten, de directe- en indirecte arbeidskosten en de kapitaalkosten per eenheid verwerkt produkt zal proefondervindelijk bepaald moeten worden aan de hand van het verwerken van een bepaalde hoeveelheid produkten. De hoeveelheid energie, tijd en kapitaal zal omgerekend moeten worden per eenheid verwerkt produkt.

Het uitgangprodukt:

- Het uitgangprodukt bestaat uit twee materialen. Het produkt bestaat voor een $(1 - q)$ -gedeelte uit materiaal A en voor een q -gedeelte uit materiaal B, waarbij $0 \leq q \leq 1$ (q is dimensieloos);
- De verkoopprijs van materiaal A is P_a (f /kg). Van materiaal B is de verkoopprijs P_b (f /kg).

Aansluitend bij het eerder gestelde bedrijfsdoel van een verwerkingsbedrijf kan aangenomen worden dat het bedrijf streeft naar een maximalisatie van de toegevoegde waarde per tijdseenheid (het rekenkundig verschil tussen opbrengsten en kosten) of een minimalisatie van de kosten per tijdseenheid. In het onderhavige geval zal de maximale toegevoegde waarde per tijdseenheid van produkt X (TW_x (f / t)) bepaald worden door de navolgende objectfunctie:

Maximaliseer:

$$TW_x = Q_t * P_x + Q_t * P_a * (1 - q) * W_x + Q_t * P_b * q * W_x - Q_t * (E_k + L_k + O_k + C_k)$$

Voorgaande formule is toepasbaar in geval het produkt slechts één bewerking ondergaat. Wanneer proces 1 gevolgd wordt door een tweede proces dan verandert het model overeenkomstig. Na proces 1 is een q-gedeelte ontstaan van materiaal B en (1-q)-gedeelte van materiaal A. Materiaal A wordt vervolgens bewerkt in proces 2, waarbij een s-gedeelte van het totale gewicht van het produkt van materiaal W ontstaat en een (1-q-s)-gedeelte van materiaal A₂ ontstaat. Het model ziet er dan als volgt uit:

- P_x : Ingangsprijs van het produkt X voor proces 1 (f/eenheid);
- W_x : Het gewicht van een produkt (kg/eenheid);
- Q_t : De hoeveelheid verwerkt produkt X per tijdseenheid t (eenheid/t);
- E_{k1} : De energiekosten van proces 1 per produkt (f/eenheid);
- L_{k1} : De directe arbeidskosten van proces 1 per produkt (f/eenheid);
- O_{k1} : De indirecte arbeidskosten van proces 1 per produkt (f/eenheid);
- C_{k1} : De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimte en bedrijfsterreinen van proces 1 per produkt (f/eenheid);
- P_b : De verkoopprijs van materiaal B die vrijkomt na proces 1 en niet hoeft te worden nabewerkt (f/kg). Het produkt bestaat voor een q-gedeelte uit materiaal B (q is dimensieloos en 0 ≤ q ≤ 1);
- E_{k2} : De energiekosten van proces 2 per produkt (f/eenheid);
- L_{k2} : De directe arbeidskosten van proces 2 per produkt (f/eenheid);
- O_{k2} : De indirecte arbeidskosten van proces 2 per produkt (f/eenheid);
- C_{k2} : De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimtes en bedrijfsterreinen van proces 2 per produkt (f/eenheid);
- P_{a2} : De verkoopprijs van materiaal A₂, die vrijkomt na proces 2 per produkt (f/kg). Het produkt bestaat voor een (1-q-s)-gedeelte uit materiaal A₂;
- P_w : De verkoopprijs van materiaal W, die vrijkomt na proces 2 per produkt (f/kg). Het produkt bestaat voor s gewichtsprocenten uit materiaal W (s is dimensieloos en 0 ≤ s ≤ 1).

De objectfunctie wordt dan:

Maximaliseer:

$$TW_x = Q_t * P_x + Q_t * P_{a2} * (1 - q - s) * W_x + Q_t * P_b * q * W_x + Q_t * P_w * s * W_x - Q_t * (E_{k1+k2} + L_{k1+k2} + O_{k1+k2} + C_{k1+k2})$$

Bij de toepassing van de formule wordt verondersteld dat de kosten van energie, arbeid en kapitaal (E_k, L_k, O_k en C_k) rechtevenredig zijn met de hoeveelheid verwerkt produkt per tijdseenheid (Q_t). Dit geldt ook voor de ingangsprijs van het produkt en de verkoopprijzen

van de materialen (In de praktijk zullen schaalvoordelen optreden bij de toename van de hoeveelheid verwerkt produkt per tijdseenheid. Dit houdt in dat de kosten voor energie, arbeid en kapitaal zullen afnemen naarmate de hoeveelheid verwerkte produkten per tijdseenheid toeneemt). Uitgaande van deze twee veronderstellingen wordt de optimale toegevoegde waarde voor produkt X in het eerste en het tweede geval bepaald door de eerste afgeleide van de objectfuncties naar Q_t en het gelijkstellen van de eerste afgeleide naar Q_t aan 0. De eerste afgeleide van de objectfunctie in de eerste situatie is gelijk aan:

$$0 = P_x + P_a * (1 - q) * W_x + P_b * q * W_x - (E_k + L_k + O_k + C_k)$$

De eerste afgeleide van de objectfunctie naar Q_t in de tweede situatie is gelijk aan:

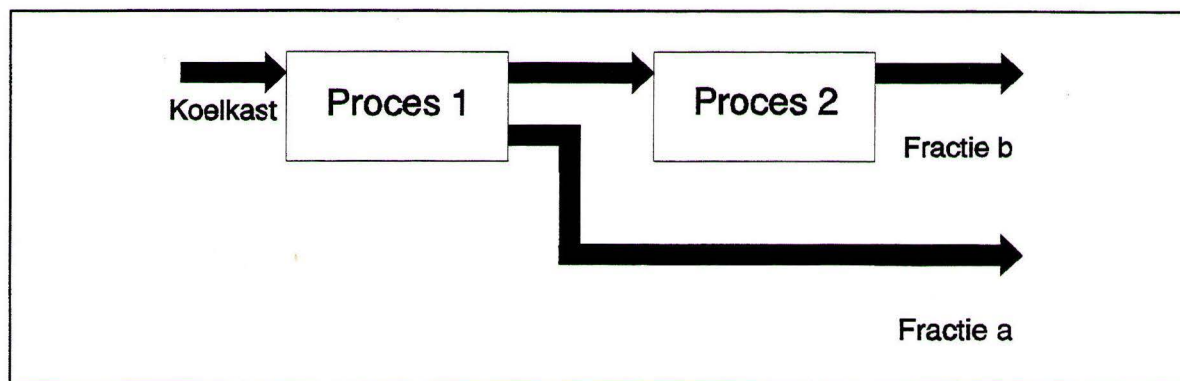
$$0 = P_x + P_{a2} * (1 - q - s) * W_x + P_b * q * W_x + P_w * s * W_x - (E_{k1+k2} + L_{k1+k2} + O_{k1+k2} + C_{k1+k2})$$

De rechterleden van de eerste afgeleide van de beide functies zijn gelijk aan de richtingscoëfficiënt van een eerstegraads functie met op de x-as Q_t uitgezet en op de y-as TW_x . De richtingscoëfficiënt is opgebouwd uit de opbrengsten en de kosten van de verwerking van een eenheid produkt en is gelijk aan nul wanneer de opbrengsten en de kosten aan elkaar gelijk zijn. Het heeft daarom geen zin om de eerste afgeleide te bepalen van de objectfuncties met het doel om de optimale toegevoegde waarde per tijdseenheid af te leiden.

Mogelijkheden om de toegevoegde waarde per tijdseenheid toe te laten nemen zijn een toename van de verwerkte produkten per tijdseenheid gecombineerd met een afname van de verwerkingskosten per produkt en een toename van de opbrengsten per produkt. Het laten toenemen van het aandeel van het produkt met een positieve opbrengstwaarde ten koste van het aandeel van het produkt met een negatieve opbrengstwaarde zal de toegevoegde waarde per produkt doen toenemen. Dit kan bewerkstelligd worden door het nabewerken van fracties van het produkt, die in eerste instantie een lagere opbrengst hadden voor de nabewerking dan erna. Indien de kosten van het nabewerken kleiner zijn dan het verschil in opbrengsten van de fracties voor en na het verwerken.

3.2 Koelkastverwerker

Het verwerkingsproces van een koelkast is grofweg onder te verdelen in twee deelprocessen. Het eerste proces richt zich op het handmatig verwijderen van een aantal onderdelen. Dan volgt een tweede proces, waarbij het restant van de koelkast machinaal wordt versnipperd en gescheiden. In de systeemkundige benadering wordt het versnipperen en scheiden van de materialen als één proces beschouwd. Bij de scheiding van de koelkast ontstaan een aantal verschillende deelfracties.



Figuur 7: Schematische weergave van het verwerkingsproces van een koelkast.

De invoer van het proces bestaat uit koelkasten, die aangeleverd worden door gemeenten. Schommelingen in de omvang van het aanbod heeft tot gevolg dat er veelvuldig gebruik gemaakt wordt van inleenkrachten. In het geval van één van de bezochte koelkastverwerkers kon dat zelfs zover gaan dat het bedrijf bij gebrek aan aanbod van producten gesloten was en de medewerkers naar huis werden gestuurd.

Het transport van de koelkasten wordt verzorgd door de gemeenten zelf of de koelkastverwerker. De koelkasten worden aangeleverd in de daarvoor bestemde containers. Voor het verwerken van een koelkast wordt door de gemeente aan het verwerkingsbedrijf een premie betaald van f 36,-- per koelkast. In tabel 1 is de gemiddelde materiaalsamenstelling van een koelkast aangegeven. De cfk's, die afgetapt worden zijn niet opgenomen in de tabel. In de praktijk worden de cfk's gratis geleverd aan een chemisch bedrijf. De totale verkoopprijs van de materialen van een koelkast komt ongeveer overeen met f 3,10. De kosten voor verwerking van de koelkast zijn niet te dekken uit de opbrengsten van de materialen die vrijkomen bij het verwerkingsproces.

Onderdeelnaam/ materiaalnaam	Massa (kg)	Verkoopprijs (f /kg)
Staal	11,9	0,135
Plaatstaal	14,4	0,135
Pur-schuim	3,5	- 0,10
Aluminium	0,3	1,30
Kunststof	3,2	- 0,10
Glas	0,7	- 0,10
Compressor	niet bekend	0,135
Bedrading	0,4	- 0,10
Overig	0,6	- 0,10

Tabel 1: Gemiddelde materiaalsamenstelling van een koelkast [14].

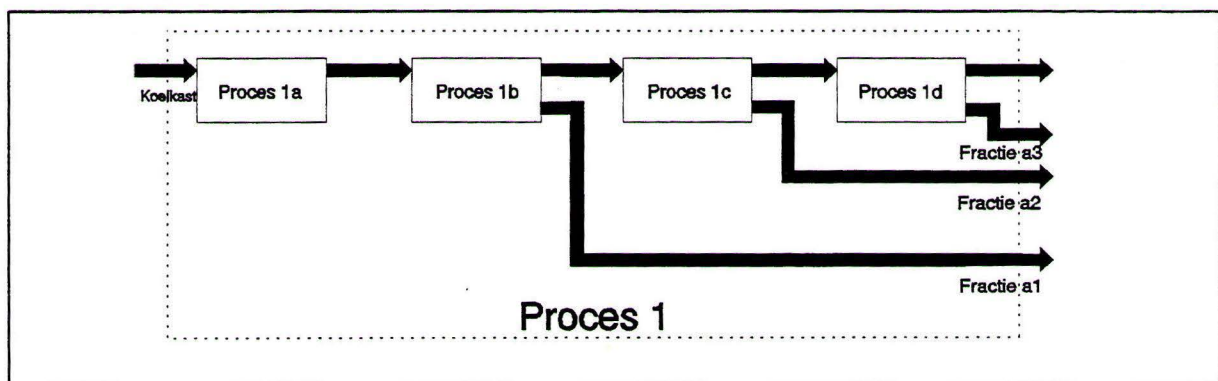
De doorvoer van de koelkasten is verdeeld in proces 1 en proces 2. Bij proces 1 worden de in het systeem ingevoerde koelkasten verwerkt tot een fractie a. Fractie a bestaat uit: het elektrische snoer, een glasplaat, de afgetapte olie, de cfk's en de compressor. Tijdens het verwerkingsproces worden de afzonderlijke componenten van fractie a gescheiden van elkaar verzameld.

Proces 2 heeft een koelkast als invoer, waarvan fractie a reeds verwijderd is. De doorvoer van proces 2 bestaat uit het machinaal verwerken van de koelkast en het scheiden van de materialen. Fractie b bestaat uit de volgende materialen: ijzer, koper/aluminium, kunststoffen, ontgast pur-schuim en cfk's. De vrijgekomen materialen worden of doorverkocht of gestort.

Vroeger scheidde men het pur-schuim handmatig van de metalen beplating van de deuren en de wanden. Tegenwoordig wordt de gehele omkasting geschredderd en worden de materialen machinaal van elkaar gescheiden. Het machinaal verwerken van de koelkast en het scheiden van de materialen is een voorbeeld van de verschuiving van het toepassen van handenarbeid ten gunste van de machinale bewerkingen. Het gevolg hiervan is dat bij de verwerking van eenzelfde hoeveelheid producten minder medewerkers nodig zijn en dat de investeringen in machines zijn toegenomen. Ontwikkelingen in de verwerkingsmethodes gaan zo snel dat er voor investeringen afschrijvingstermijnen worden gehanteerd van één jaar.

Afhankelijk van het gekozen abstractieniveau verandert de schematische weergave van het verwerkingsproces. In figuur 8 wordt als voorbeeld proces 1, zoals dat weergegeven is in figuur 7, uiteengesplitst in een viertal opeenvolgende activiteiten. Afhankelijk van de mate van detail waarin procesgegevens beschikbaar zijn en de gewenste nauwkeurigheid, zal de mate van abstractie bepaald dienen te worden.

In figuur 8 is te zien dat proces 1 onder te verdelen is in een viertal afzonderlijke activiteiten. De invoer van proces 1a bestaat overeenkomstig de invoer van proces 1 uit een koelkast, die zich in een container bevindt. Proces 1a bestaat uit het verwijderen van de koelkast uit de container en het plaatsen van de koelkast op de werkvloer. Het elektrische snoer en de glasplaat worden bij proces 1b verwijderd, hetgeen resulteert in



Figuur 8: Een nadere detaillering van proces 1.

fractie a1. Dan wordt de koelkast op een transportband geplaatst, waarmee hij naar het aansluitende proces wordt vervoerd. Dat bestaat uit het doorboren van de compressor en het aftappen van de cfk's (proces 1c). De fractie a2, die hierbij ontstaat bestaat uit cfk's en olie. Vervolgens wordt bij proces 1d de compressor verwijderd (fractie a3), waarna het restant van de koelkast als invoer dient van proces 2.

Voor het realiseren van de doorvoer zijn nodig:

- Een aantal produktiemedewerkers, een heftruckchauffeur, een bedrijfsleider, een secretaresse en een baas. Om ziekteverzuim en verlof van de produktiemedewerkers op te vangen is gekozen voor het inzetten van inleenkrachten;
- Een bedrijfsterrein met daarop een gebouw, waarbinnen de genoemde processen plaats kunnen vinden;
- De bedrijfsmiddelen voor proces 1 bestaan uit twee aftapinstallaties. Voor proces 2 zijn dat: een shredder, een koprolmagneet, een windzifter, een pur-afzuiginstallatie, een ontgassingsinstallatie. Voor de overige activiteiten zijn dat twee heftrucks. De heftrucks worden gebruikt voor het voorzetten van een container met koelkasten voor de produktielijn en het verwisselen van de bakken, waarin de fracties worden opgevangen, die tijdens het proces ontstaan.

Voor het verwerkingsproces van figuur 8 ziet het model er als volgt uit:

- P_{kk} : Ingangsprijs van de koelkast voor proces 1 (f /eenheid);
- Q_t : De hoeveelheid verwerkte koelkasten per tijdseenheid t (eenheid/ t);
- E_{p1}, E_{p2} : De energiekosten van respectievelijk proces 1 en proces 2 per produkt (f /eenheid);
- L_{p1}, L_{p2} : De directe arbeidskosten van respectievelijk proces 1 en proces 2 per produkt (f /eenheid);
- O_{p1}, O_{p2} : De indirecte arbeidskosten van respectievelijk proces 1 en proces 2 per produkt (f /eenheid);
- C_{p1}, C_{p2} : De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimtes en bedrijfsterreinen van respectievelijk proces 1 en proces 2 per produkt (f /eenheid);
- $P_{a1..a5}$: De verkoopprijs van materiaalsoort A_1 tot en met A_5 . Hierbij wordt het elektrische snoer aangegeven met A_1 (f /kg), de glasplaat met A_2 (f /kg), de olie met A_3 (f /kg), de cfk's met A_4 (f /kg) en de compressor met A_5 (f /kg);
- $P_{b1..b5}$: De verkoopprijs van materiaalsoort B_1 tot en met B_5 . Hierbij wordt de fractie ijzer aangegeven met B_1 (f /kg), de fractie koper/aluminium met B_2 (f /kg), de fractie kunststoffen met B_3 (f /kg), het pur-schuim met B_4 (f /kg) en de vrijgekomen cfk's B_5 (f /kg);
- $W_{a1..a5}$: De relatieve massa van fractie A_1 tot en met A_5 van een koelkast (kg);
- $W_{b1..b5}$: De relatieve massa van fractie B_1 tot en met B_5 van een koelkast (kg).

In het geval van de koelkast wordt de maximale toegevoegde waarde per tijdseenheid (TW_{kk}) bepaald door de navolgende objectfunctie:

Maximaliseer:

$$TW_{kk} = Q_t * P_{kk} + \sum_{n=1}^5 Q_t * P_{an} * W_{an} + Q_t * P_{bn} * W_{bn} - Q_t * (E_{p1+p2} + L_{p1+p2} + O_{p1+p2} + C_{p1+p2})$$

De gegevens gebaseerd op bijlage 1 ingevuld in de bovenstaande formule heeft het navolgende resultaat:

$$\begin{aligned} P_{kk} &= f \ 36,-- \text{ per koelkast}; & Q_t &= 37.500 \text{ koelkasten per 2.000 uur}; \\ E_{p1}, E_{p2} &= f \ 0,00 \text{ per koelkast}; & L_{p1} + L_{p2} &= f \ 240.000,-- / 37.500; \\ O_{p1} + O_{p2} &= f \ 250.000,-- / 37.500; & C_{p1} + C_{p2} &= f \ 734.375,-- / 37.500; \\ P_{a1..a5} * W_{a1..a5} + P_{b1..b5} * W_{b1..b5} &= f \ 3,10 \text{ per koelkast.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TW_{kk} &= 37.500/2.000 * f \ 36,-- + 37.500/2.000 * f \ 3,10 \\ &\quad - 37.500/2.000 * (0,00 + f \ 240.000,--/37.500 + f \ 250.000,--/37.500 \\ &\quad + f \ 734.375,--/37.500) \end{aligned}$$

$$TW_{kk} = f \ 121,-- \text{ per uur.}$$

Een toegevoegde waarde per uur van $f \ 121,--$ bij een verwerkingsniveau van 37.500 koelkasten per jaar komt overeen met een opbrengst van $f \ 6,45$ per koelkast.

Om van het uitgesplitste proces 1 en proces 2 een model te maken moeten de navolgende veranderingen aangebracht worden in het hiervoor vastgestelde model. Deze veranderingen zijn:

- $E_{p1a..p1d}$: De energiekosten van respectievelijk proces 1a tot en proces 1d per produkt (f /eenheid);
- $L_{p1a..p1d}$: De directe arbeidskosten van respectievelijk proces 1a tot en met proces 1d per produkt (f /eenheid);
- $O_{p1a..p1d}$: De indirecte arbeidskosten van respectievelijk proces 1a tot en met proces 1d per produkt (f /eenheid);
- $C_{p1a..p1d}$: De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimte en bedrijfsterreinen van respectievelijk proces 1a tot en met proces 1d per produkt (f /eenheid).

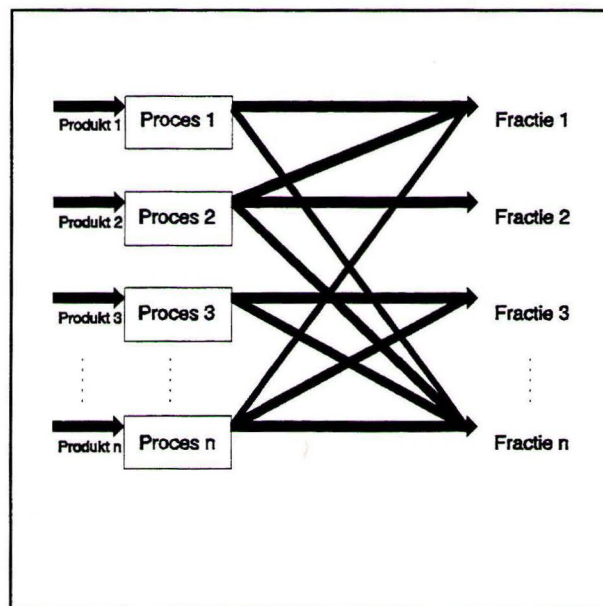
De objectfunctie verandert dan in:

Maximaliseer:

$$TW_{kk} = Q_t * P_{kk} + \sum_{n=1}^5 Q_t * P_{an} * W_{an} + Q_t * P_{bn} * W_{bn} - Q_t * \sum_{n=a}^d E_{p1n} + L_{p1n} + O_{p1n} + C_{p1n} - Q_t * (E_{p2} + L_{p2} + O_{p2} + C_{p2})$$

3.3 Verwerker van elektronische apparatuur

Het aanbod van produkten aan een verwerker van elektronische apparatuur is divers. Ten gevolge daarvan zijn een groot aantal verwerkingsprocessen te onderscheiden afhankelijk van de aangeboden elektronische apparatuur. De verwerkingsprocessen zijn opgebouwd uit een beperkt aantal handelingen. Figuur 9 is een schematische weergave van de te onderscheiden verwerkingsprocessen bij de verwerker van elektronische apparatuur.



Figuur 9: Schematische weergave van het verwerkingsproces van elektronische apparatuur.

De invoer van de te onderscheiden processen bestaat uit kleine elektronische huishoudelijke apparatuur (produkt 1 tot en met produkt n). Onder kleine elektronische huishoudelijke apparatuur wordt onder andere verstaan: televisies, radio-apparatuur, computers, beeldschermen van computers, enzovoort. Het bedrijf verkrijgt z'n invoer vanuit het moederbedrijf en van andere bedrijven, die elektronische produkten aan bieden om te verwerken. De acquisitie van partijen elektronisch schroot wordt verzorgd door een zusteronderneming. Deze onderneming fungeert ook als afnemer van de fracties bij de verwerker. De ingangsprijs van de aangeboden produkten wordt bepaald in onderling

overleg tussen de aanbieder en het handelshuis. De waarde wordt bepaald door de aanwezigheid van relatief grote hoeveelheden "dure" materialen of door de kosten van verwerking indien er niet direct sprake is van de aanwezigheid van bepaalde materialen. De processen 1 tot en met n bestaan uit het handmatig demonteren van de aangeboden produkten. De demontageactiviteiten hebben hierbij echter één doel en dat is het zo snel mogelijk (lees: met zo weinig mogelijk kosten) verkrijgen van verkoopbare fracties. De werkwijze is in principe niet relevant. Gezien het doel van de demontageactiviteiten en het gebrek aan inzicht in de demontageactiviteiten wordt er verder niet ingegaan op de verwerkingsstructuur van een afzonderlijk produkt.

Als uitvoer van de verschillende processen resteren een aantal fracties. Voorbeelden van deze fracties zijn: metaalfracties (in bepaalde zuiverheden, gelakt, ongelakt, enz.), kunststoffracties, kabelbomen, beeldschermglas van monitoren en televisies, elektrische motoren, printplatenfracties, enzovoort. In beperkte mate worden bepaalde fracties, die vrijgekomen zijn bij de verwerking van de elektronische apparatuur nog vernalen in een verkleiningsmachine. Zoals reeds vermeld is neemt het handelshuis de vrijgekomen materialen over en biedt deze aan derden.

Voor het realiseren van de doorvoer zijn nodig:

- Een aantal produktiemedewerkers en een chef. Bij afwezigheid van de chef wordt deze vervangen door één van de produktiemedewerkers;
- Een bedrijfsterrein met daarop een gebouw, waarbinnen de genoemde processen plaats kunnen vinden;
- Bij het demonteren wordt gebruik gemaakt van handgereedschap (onder andere een schroevendraaier op luchtdruk). Het demonteren van de produkten vindt plaats op rollenbanen. Grenzend aan de rollenbanen staan pallets opgesteld waarin de fracties worden verzameld. Verder beschikt men over een heftruck en een aantal palletwagentjes om de produkten en de materialenfracties te verplaatsten.

Voor produkt 1 ziet het model er als volgt uit:

- $P_{\text{produkt 1}}$: Ingangsprijs van het produkt 1 voor proces 1 ($f/\text{eenheid}$);
- Q_{t1} : De hoeveelheid aangeboden produkt 1 in periode t, die vervolgens bewerkt wordt ($\text{eenheid}/t$);
- E_{p1} : De energiekosten van proces 1 per produkt 1 ($f/\text{eenheid}$);
- L_{p1} : De directe arbeidskosten van proces 1 per produkt 1 ($f/\text{eenheid}$);
- O_{p1} : De indirecte arbeidskosten van proces 1 per produkt 1 ($f/\text{eenheid}$);
- C_{p1} : De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimtes en bedrijfsterreinen van proces 1 van produkt 1 ($f/\text{eenheid}$);
- $P_{1..n}$: De verkoopprijs van fractie 1 tot en met fractie n van produkt 1 (f/kg);
- $W_{1..n}$: De relatieve massa van fractie 1 tot en met fractie n van produkt 1 (kg).

Van het enkelvoudige produkt wordt de maximale toegevoegde waarde per tijdseenheid bepaald (TW_{produkt1}) met de navolgende objectfunctie:

Maximaliseer:

$$TW_{\text{produkt1}} = Q_{t1} * \sum_{n=1}^n P_n * W_n - Q_{t1} * (E_{p1} + L_{p1} + O_{p1} + C_{p1})$$

Voor de produkten 1 tot en met n ziet de objectfunctie, waarbij $TW_{\text{alle produkten}}$ de toegevoegde waarde voor alle produkten is, er als volgt uit:

Maximaliseer:

$$TW_{\text{alle produkten}} = \sum_{n=1}^n Q_{tn} * P_n * W_n - \sum_{n=1}^n (E_{pn} + L_{pn} + O_{pn} + C_{pn})$$

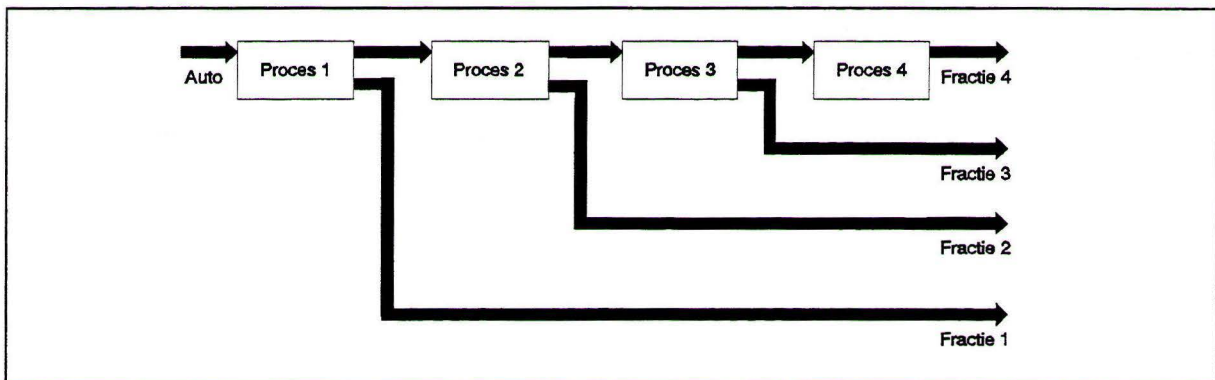
3.4 Verwerker van auto's

De invoer van een verwerker van auto's bestaat uit auto's, die afgedankt worden door particulieren en bedrijven. Het vervoer van de auto's naar het autodemontagebedrijf wordt verzorgd door de aanbieder van de auto of door het autodemontagebedrijf. Wanneer de auto niet meer geschikt is voor de tweede-hands markt blijft er één optie over en die bestaat uit het demonteren van de onderdelen die een bepaalde verkoopprijs vertegenwoordigen. De rest van de auto wordt gesloopt, waarbij de materialen op soort worden gescheiden.

Ingaande 1 januari 1995 is er een verwijderingsbijdrage van f 250,-- per auto vastgesteld. De verwijderingsbijdrage wordt betaald bij de verstrekking van een kentekenbewijs voor de aanschaf van een nieuwe auto. Voor het beheer van de verwijderingsbijdrage en het toekennen van de verwijderingspremie is een speciale uitvoeringsorganisatie opgericht: Auto Recycling Nederland BV. Oprichters van deze onderneming zijn de volgende branche-organisaties: BOVAG (garagebedrijven), FOCWA (schadeherstelbedrijven), RAI (autofabrikanten en importeurs), STIBA (autodemontagebedrijven) en de SVN (shredderbedrijven) [15]. Gecertificeerde en bij Auto Recycling Nederland aangesloten autodemontagebedrijven verplichten zich contractueel specifieke materialen te demonteren en af te laten voeren. Auto Recycling Nederland verplicht zich in datzelfde contract om voor deze in opdracht uitgevoerde werkzaamheden een vergoeding (de verwijderingsbijdrage) te betalen. Uitkering zal pas plaatsvinden nadat gecontroleerd is of daadwerkelijk gedemonteerd respectievelijk herverwerkt is. De uitkering wordt gebaseerd op de gewichtshoeveelheid gedemonteerd respectievelijk herverwerkt materiaal en is dus niet een eenheidsprijs per ingenomen wrak.

Dagelijks worden in Nederland meer dan duizend auto's afgedankt. Dit houdt in dat iedere dag een file van meer dan vijf kilometer richting autodemontagebedrijven gaat. Het volledig controleren van de afvalstroom auto's is een onmogelijke opgave. Controle zal voornamelijk schriftelijk plaatsvinden gecombineerd met steekproefgewijze controle ter plaatse. Dit maakt het toekenningsproces van de verwijderingspremie fraudegevoelig.

Het verwerkingsproces bestaat uit een viertal processen (zie figuur 10). Met het eerste proces wordt aangegeven, dat de voor hergebruik geschikte onderdelen van de auto worden gesloopt (fractie 1). Proces 2 is het vloeistofvrij maken van het wrak. Onder vloeistofvrij maken wordt verstaan: het verwijderen van de carterolie, de versnellingsbakolie, de koelvloeistof, de remvloeistof en de brandstof (fractie 2). Het vloeistofvrij maken van het autowrak is wettelijk verplicht met het oog op het voorkomen



Figuur 10: Schematische weergave van het verwerkingsproces van een auto.

van het verontreinigen van de bodem met eventueel weglekkende vloeistoffen. Vervolgens worden in proces 3 alle andere onderdelen verwijderd, zodat een wrak van metaal ontstaat. Fractie 3 bestaat derhalve uit: de wielen, de kentekenplaten, de brandstoftank, de gastank, de stuurbevestiging, de airconditioning, het pur-schuim uit de banken en de stoelen, de motor, enzovoort. De kunststoffen onderdelen, die vrijkomen bij alle voorgaande processtappen worden teruggestopt in het wrak, waarna het wrak in processtap 4 wordt geplet. Fractie 4 bestaat uit een geplet wrak, dat wordt afgevoerd naar een bedrijf, dat het wrak versnippert om vervolgens het metaal van de kunststoffen te scheiden. De kunststoffen worden nu nog verbrand of gestort.

De uitvoer van het verwerkingsproces van een auto bestaat derhalve uit onderdelen, die geschikt zijn om te worden doorverkocht en materialen, die gestort dan wel op een andere wijze door een bedrijf worden verwerkt.

Voor het realiseren van de doorvoer zijn nodig:

- Een aantal produktiemedewerkers en een baas;
- Een bedrijfsterrein met daarop een gebouw, waarbinnen processtap 2 plaats kan vinden;

- Bij het demonteren wordt gebruik gemaakt van handgereedschap en een aantal hefinstallaties. Verder beschikt men over een aantal heftrucks.

Voor de auto ziet het model er als volgt uit:

- P_{auto} : De ingangsprijs van de auto voor proces 1 ($f/$ eenheid);
- Q_t : De hoeveelheid verwerkte auto's in een periode t (eenheid/ t);
- $E_{p1..4}$: De energiekosten van respectievelijk proces 1 tot en met proces 4 per auto ($f/$ eenheid).
- $L_{p1..4}$: De directe arbeidskosten van respectievelijk proces 1 tot en met proces 4 per auto ($f/$ eenheid);
- $O_{p1..4}$: De indirecte arbeidskosten van respectievelijk proces 1 tot en met proces 4 per auto ($f/$ eenheid);
- $C_{p1..4}$: De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimtes en bedrijfsterreinen van respectievelijk proces 1 tot en met proces 4 per auto ($f/$ eenheid);
- $P_{1..4}$: De verkoopprijs van de vrijgekomen materialen bij de processtappen 1 tot en met 4 per auto (f/kg);
- P_{ond} : De verkoopprijs van de onderdelen van een auto ($f/$ eenheid);
- $W_{1..4}$: Het gewicht van de vrijgekomen materialen bij de processtappen 1 tot en met 4 per auto ($kg/$ eenheid).

In het geval van de auto zal de maximale toegevoegde waarde per tijdseenheid (TW_{auto} (f/t)) worden bepaald door de navolgende objectfunctie:

Maximaliseer :

$$TW_{auto} = Q_{auto} * P_{auto} + P_{ond} + Q_t * \sum_{n=1}^4 P_n * W_n - Q_t * \sum_{n=1}^4 (E_n + L_n + O_n + C_n)$$

3.5 Verwerker van bouw- en sloopafval

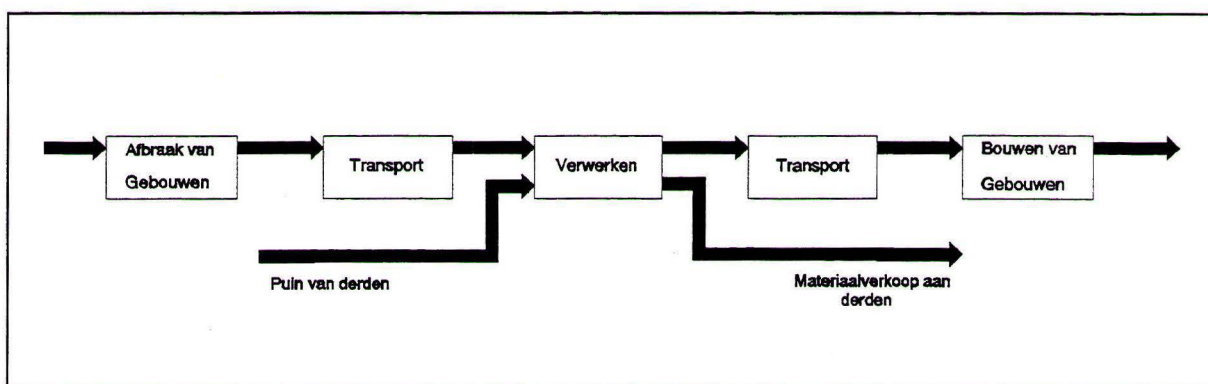
De onderneming, die zich in dit praktijkvoorbeeld bezig houdt met de verwerking van bouw- en sloop afval verricht naast het verwerken nog een aantal andere activiteiten. In de eerste plaats is een slopersbedrijf voor het afbreken van huizen en gebouwen een onderdeel van de gehele onderneming. In de tweede plaats beschikt het bedrijf over een transportonderneming, die de aan- en afvoer van materialen verzorgt op de bouwplaatsen. Dit kunnen bouwplaatsen zijn, waar huizen en gebouwen worden gebouwd c.q. afgebroken. Het bouwen van huizen en gebouwen wordt uitgevoerd door de bouwonderneming die een onderdeel is van de totale onderneming. Tot slot houdt de onderneming zich bezig met het verwerken van bouw- en sloopafval. Dit is een activiteit, die niet alleen wordt uitgevoerd voor het bouw- en sloopafval dat vrijkomt op de bouwplaatsen waar deze onderneming huizen en gebouwen bouwt of afbreekt. De aanvoer bestaat ook uit bouw-

en sloopafval dat wordt aangeleverd door particulieren, gemeentes en andere sloopbedrijven. Figuur 11 geeft een schematisch overzicht van de activiteiten van de onderneming.

In figuur 11 is te zien dat de verwerking van bouw- en sloopafval volledig past binnen de andere activiteiten van de onderneming. Indien de gebruiksfase van de huizen en gebouwen ook nog onderdeel zou gaan uitmaken van deze onderneming, dan zou de grondstoffenkringloop binnen deze onderneming gesloten zijn.

Het aangevoerde bouw- en sloopafval is onder te verdelen in de navolgende categorieën:

- "schoon" puin (bouw- en sloopafval, dat relatief gezien in geringe mate is vervuild met kunststoffen en metalen);
- bouwafval (bouw- en sloopafval, dat relatief gezien in sterke mate is vervuild met kunststoffen en metalen);
- asfaltpuin, niet teerhoudend;
- betonafval;
- groenafval.

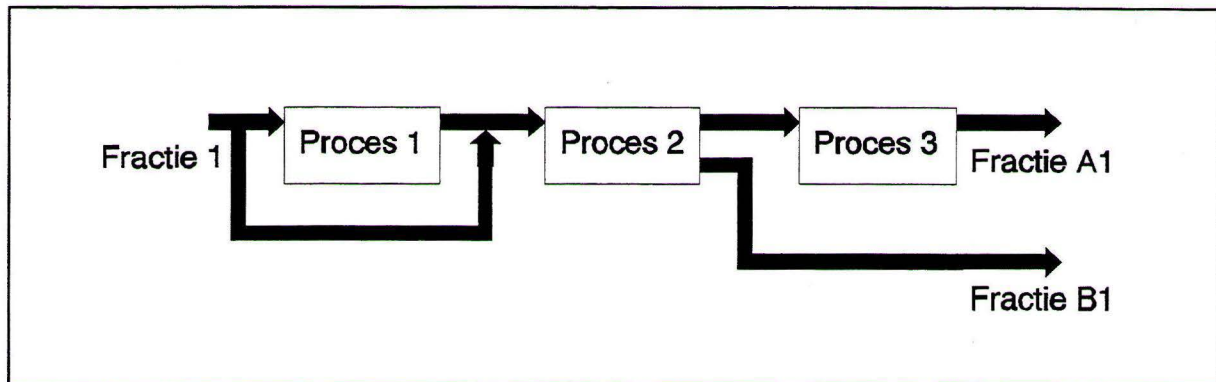


Figuur 11: Schematische weergave van de ondernemingsactiviteiten van een verwerker van bouw- en sloopafval.

"Schoon" puin en asfaltpuin worden op dezelfde wijze verwerkt. In figuur 12 zijn deze soorten puin aangegeven met de term fractie 1. Mocht het "schone" puin of het asfaltpuin groter zijn dan 50 cm bij 50 cm, dan wordt het puin eerst verkleind door een boorhamer (proces 1). De boorhamer wordt gehuurd bij een ander deel van het eigen bedrijf.

Vervolgens wordt het "schone" puin of asfaltpuin verwerkt in een shredderinstallatie (proces 2). Het puin wordt met een shovel in een vultrechter gestort, waarna het zand gescheiden wordt van het steen door middel van een schudgoot in combinatie met een zeef. Daarna wordt het zand gewassen in een wasinstallatie, waarbij de fractie A1 (proces 3) overblijft. Die bestaat uit gewassen zand (fractie A11) en slib (fractie A12). Het steen wordt vervolgens verkleind in de hoofdbreker, waarna de ontstane fractie onder een magneetband door wordt gevoerd. De magneet verwijdert eventuele grote stukken aanwezige metalen (fractie B13). Een tweede magneetscheider verwijdert de kleinere stukken metaal uit de steenfractie. De stenen worden daarna gezeefd. Mochten de stenen niet de juiste grootte hebben, dan worden ze nagebroken in een kleinere shredder, om

vervolgens te worden teruggevoerd naar de zeef. De stenen, die de zeef zijn gepasseerd worden door middel van een afvalscheider ontdaan van eventuele andere vervuilingen, zoals hout en kunststoffen (fractie B14). Na de uitvoering van dit proces ontstaat in het



Figuur 12: Schematische weergave van de verwerking van "schoon" puin en asfaltpuin.

geval van het "schone" puin een steenfractie B11 of bij het asfaltpuin een asfaltfractie B12. 90% van de zo ontstane steenfractie of asfaltfractie wordt afgezet in de wegenbouw als onderlaag voor de aanleg van nieuwe wegen.

- P_1, P_2 : Ingangsprijs van het "schone" puin, respectievelijk asfaltpuin (f/kg);
 Q_{t1}, Q_{t2} : De massa verwerkt "schoon" puin, respectievelijk asfaltpuin per tijdseenheid (kg/t);
 $E_{1..3}$: De energiekosten van respectievelijk proces 1 tot en met proces 3 (f/kg);
 $L_{1..3}$: De directe arbeidskosten van respectievelijk proces 1 tot en met proces 3 (f/kg);
 $O_{1..3}$: De indirecte arbeidskosten van respectievelijk proces 1 tot en met proces 3 (f/kg);
 $C_{1..3}$: De kapitaalkosten van machines, gereedschappen, bedrijfsruimtes en bedrijfsterrains van respectievelijk proces 1 tot en met proces 3 (f/kg);
 $P_{...}$: De verkoopprijs van de vrijgekomen materialen. Deze zijn: P_{A11} (f/kg) van gewassen zand, P_{A12} (f/kg) van slib, P_{B11} (f/kg) van de steenfractie, P_{B12} (f/kg) van de asfaltfractie, P_{B13} (f/kg) van de metalen, P_{B14} (f/kg) van overige vervuilingen, zoals kunststoffen en hout.

Van de fractie 1 maakt een $(1-p)$ -gedeelte gebruik van proces 1 en dus een p -gedeelte niet. Na proces 2 gaat een $(1-a)$ -gedeelte door proces 3 heen en een a -gedeelte niet. Onder de voorwaarden dat: $0 \leq a \leq 1$ en $0 \leq p \leq 1$ (a en p zijn dimensieloos). De fractie A1 bestaat voor een a_1 -gedeelte uit A11 en voor een a_2 -gedeelte uit A12, waarbij voldaan moet worden aan de voorwaarde dat: $(1-a) = a_1 + a_2$, $0 \leq a_1 \leq 1$ en $0 \leq a_2 \leq 1$ (a_1 en a_2 zijn dimensieloos).

Indien "schoon" puin wordt verwerkt bestaat de fractie B1 uit een b_1 -gedeelte B11, een b_3 -gedeelte B13 en een b_4 -gedeelte B14. Wanneer asfaltpuin verwerkt wordt bestaat de

fractie B1 uit een b_2 -gedeelte B12, een b_3 -gedeelte B13 en een b_4 -gedeelte B14. Onder de voorwaarden dat: $0 \leq b_2 \leq 1$, $0 \leq b_3 \leq 1$ en $0 \leq b_4 \leq 1$. Verder geldt voor de fractie B1 van het "schone" puin dat $a = b_1 + b_3 + b_4$ en voor het asfaltpuin $a = b_2 + b_3 + b_4$ (b_1, b_2, b_3 en b_4 zijn dimensieloos).

De toegevoegde waarde voor het "schone" puin wordt in de objectfunctie aangegeven met $TW_1 (f/t)$. De objectfunctie voor het "schone" puin ziet er dan als volgt uit:

Maximaliseer:

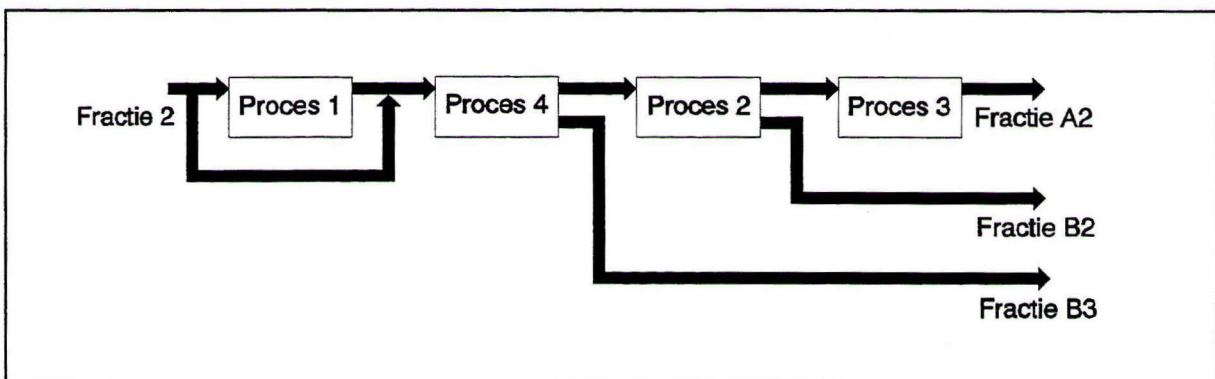
$$TW_1 = Q_{i1} * P_1 + Q_{i1} (a_1 * P_{A11} + a_2 * P_{A12} + b_1 * P_{B11} + b_3 * P_{B13} + b_4 * P_{B14}) - Q_{i1}(1-p)(1-a)(E_{1+2+3} + L_{1+2+3} + O_{1+2+3} + C_{1+2+3}) - Q_{i1}p(1-a)(E_{2+3} + L_{2+3} + O_{2+3} + C_{2+3}) - Q_{i1}a(1-p)(E_{1+2} + L_{1+2} + O_{1+2} + C_{1+2}) - Q_{i1}pa(E_2 + L_2 + O_2 + C_2)$$

De toegevoegde waarde voor het asfaltpuin wordt in de objectfunctie aangegeven met $TW_2 (f/t)$. De objectfunctie voor het asfaltpuin ziet er dan als volgt uit:

Maximaliseer:

$$TW_2 = Q_{i2} * P_2 + Q_2 (a_1 * P_{A11} + a_2 * P_{A12} + b_2 * P_{B12} + b_3 * P_{B13} + b_4 * P_{B14}) - Q_{i2}(1-p)(1-a)(E_{1+2+3} + L_{1+2+3} + O_{1+2+3} + C_{1+2+3}) - Q_{i2}p(1-a)(E_{2+3} + L_{2+3} + O_{2+3} + C_{2+3}) - Q_{i2}a(1-p)(E_{1+2} + L_{1+2} + O_{1+2} + C_{1+2}) - Q_{i2}pa(E_2 + L_2 + O_2 + C_2)$$

Het voorgaande proces wordt voor het bouwafval, dat als fractie 2 is aangegeven in figuur 13, op één punt aangepast. Een leesband (proces 4) wordt tussen de processen 1 en 2 gevoegd. Eén of twee medewerkers verwijderen de grove vervuilingen (fractie B3) alvorens het puin in de shredder wordt vermalen.



Figuur 13: Schematische weergave van de verwerking van bouwafval.

De objectfunctie van het bouwafval verschilt weinig van de opgestelde functies voor het "schone" puin en het asfaltpuin. Het enige verschil bestaat uit de toevoeging van proces 4, maar de daarbij vrijkomende fractie B3 komt overeen met de fractie B14 in de voorgaande processen. Daarom is de formulering van een objectfunctie voor het bouwafval achterwege gelaten.

Tot slot bestaat de aanvoer van het verwerkingsbedrijf uit beton- en groenafval. Voor de verwerking van betonafval, dat vrijkomt bij de sloop van funderingen van huizen en gebouwen, beschikt de onderneming over een betoncentrale. Het herwonnen beton wordt verwerkt in nieuw beton. In nieuw beton mag 20 % "oude" beton worden verwerkt. Het bedrijf heeft niet een shredderinstallatie voor het verwerken van groenafval. Hiervoor wordt op afroepbasis een bedrijf ingeschakeld, dat met behulp van een shredder het groenafval vermaalt. Het verwerkte groenafval wordt gebruikt als afdeklaag voor vuilstortplaatsen.

Voor het realiseren van de doorvoer van het verwerkingsbedrijf zijn nodig:

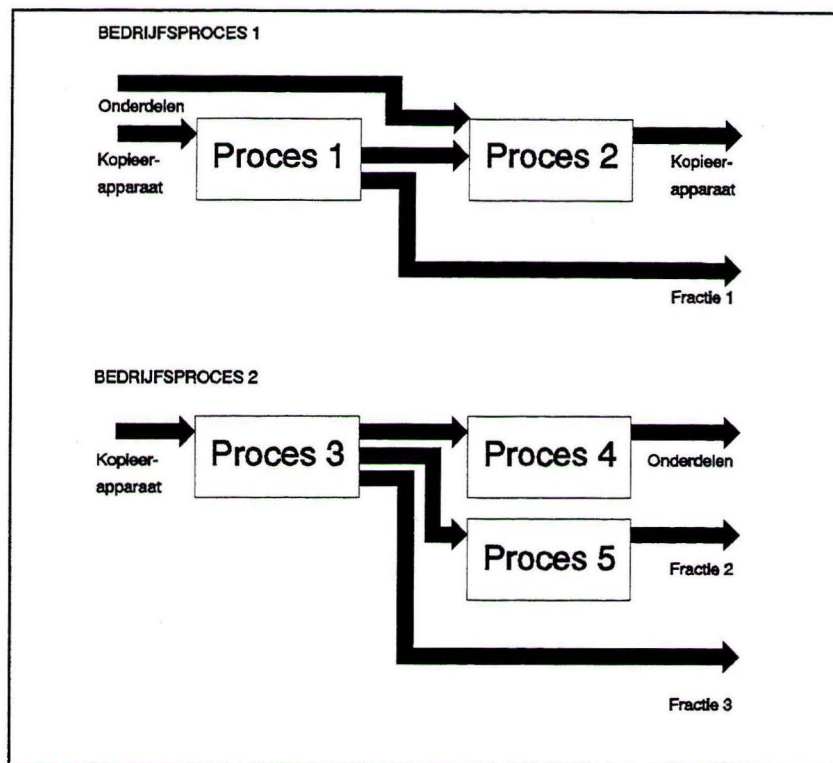
- Een aantal medewerkers voor de bediening van de twee shredderinstallaties, het wegen van de aangevoerde materialen, het vullen van de shredderinstallatie met behulp van een aantal shovels;
- Een bedrijfsterrein met daarop een gebouw voor de stalling van het rijdende materieel en het uitvoeren van onderhoud aan de machines.

3.6 Verwerker van kopieerapparaten

Het verwerkingsproces van kopieerapparaten vangt aan bij de inname van "oude" kopieerapparaten door de servicemonteurs van het bedrijf bij de installatie van een nieuwe machine. Het "oude" kopieerapparaat wordt niet alleen ingenomen maar ook de verpakking van de nieuwe machine wordt verzameld door de servicemonteur. Bij het uitvoeren van servicehandelingen aan kopieerapparaten worden de onderdelen die vervangen zijn, teruggestuurd naar de verwerkingseenheid van de kopieerapparaten. Het transport van de "oude" kopieerapparaten, onderdelen en verpakkingsmaterialen wordt verzorgd door een transportonderneming, die in opdracht van het verwerkingsbedrijf de kopieerapparaten vervoert. Na het legen van de vrachtwagen begint het bedrijfsproces dat het classificeren van de aangekomen kopieerapparaten tot de afvoer van gereviseerde kopieerapparaten behelst.

Fluctuaties in het aanbod maakt het voor de verwerker noodzakelijk om de grootte van z'n personeelsbestand af te stemmen op de benodigde capaciteit voor het verwerkingsproces. Om aan de gevraagde flexibiliteit te voldoen is het personeel opgedeeld in een groep vaste medewerkers (ongeveer 60 %) en een groep inleenkrachten. De verwerker van kopieerapparaten streeft naar een 70/30-verhouding tussen vaste en ingeleende medewerkers.

Het totale proces van het verwerken van kopieerapparaten is ruwweg op te delen in twee afzonderlijke processen (zie figuur 14). Het eerste bedrijfsproces bestaat uit deelproces 1 en deelproces 2 en het tweede bedrijfsproces bestaat uit de deelprocessen drie tot en met vijf. Voor het eerste bedrijfsproces komen kopieerapparaten in aanmerking, die gebruikt zijn op beurzen (klasse 1 - kopieerapparaten) en dus relatief weinig kopieën hebben geproduceerd (minder dan 100.000). In de tweede plaats komen machines in aanmerking



Figuur 14: Schematische weergave van de verwerking van kopieerapparaten.

voor het eerste bedrijfsproces, die door het vervangen van een aantal vitale delen en het toevoegen van de nieuwste technologieën (klasse 2 - kopieerapparaten) geschikt worden gemaakt voor een "tweede" leven. Proces 1 is het verwijderen van aan slijtage onderhevige onderdelen en het schoonmaken van de kopieerapparaten. Vervolgens worden in proces 2 nieuwe onderdelen in de kopieerapparaten gemonteerd, waarbij de uit oude onderdelen bestaande fractie 1 vrijkomt. Deze onderdelen worden op materiaalsoort geselecteerd en verzameld. Aan het einde van proces 2 worden de kopieerapparaten getest op hun functionaliteit. De output van het eerste bedrijfsproces bestaat uit kopieermachines, die weer volledig operationeel zijn en teruggestuurd worden naar het land van herkomst. Deze machines worden verkocht voor een lagere prijs, dan de nieuwwaarde van de machine.

Het tweede bedrijfsproces is het demonteren van kopieerapparaten, die aan het eind van hun levenscyclus gekomen zijn en niet meer als geheel kunnen worden ingezet voor het vervaardigen van kopieën (klasse 3 - kopieerapparaten). Verder bestaat de input van het tweede bedrijfsproces uit machines, die van verzekeringswege moeten worden verwerkt. Dit zijn machines, die tijdens transport zijn beschadigd of gedeeltelijk zijn verbrand in een bedrijfspand (klasse 4 - kopieerapparaten). De machines uit klasse 3 en 4 worden volledig handmatig gedemonteerd. Bij de demontage komen onderdelen vrij, die na schoongemaakt en getest te zijn op hun functionaliteit, weer ingezet kunnen worden bij de

produktie van nieuwe kopieerapparaten in de produktievestiging. De onderdelen die door de verwerkingseenheid toegeleverd worden aan de produktievestiging, voldoen aan de specificatie zoals die ook opgesteld is voor toeleveranciers van "nieuwe" onderdelen. In 1993 en 1994 zijn respectievelijk 1,1 miljoen en 2,6 miljoen onderdelen aan de produktievestiging geleverd. Het verschil in kostprijs van de onderdelen geleverd door het verwerkingsbedrijf en de toeleveranciers van nieuwe onderdelen is 20 % ten gunste van het verwerkingsbedrijf. Het verwerkingsbedrijf heeft in 1989 een winst behaald die 12 % van de omzet van het verwerkingsgedeelte bedroeg [16]. Het productieproces van de verwerker van kopieerapparaten is ISO-gecertificeerd.

Fractie twee bestaat uit materialen, die vrijkomen bij de demontage van kopieerapparaten, die vervolgens worden versnipperd. Deze fractie bestaat voornamelijk uit kunststoffen. De op deze wijze herwonnen kunststoffen worden toegepast in de produktievestiging voor het vervaardigen van nieuwe kunststofonderdelen.

Tot slot ontstaat een derde fractie, die evenals de tweede fractie uit materialen bestaat die vrijkomen bij de demontage van kopieerapparaten. Deze fractie bestaande uit glas, karton, verpakkingsmateriaal en afval wordt, zonder te worden vermalen, aangeboden aan de afnemers.

Het verwerkingsproces van kopieerapparaten is niet vertaald in een objectfunctie, want het bedrijf is te complex om in één wiskundige vergelijking weer te geven.

3.7 Economische parameters

Het doel van het voorgaande hoofdstuk is te komen tot het bepalen van de economische parameters, die van invloed zijn op het verwerkingsproces. Bij de systeemkundige beschrijving van de in het onderzoek betrokken verwerkingsprocessen zijn de navolgende modelparameters te onderscheiden:

- * De ingangswaarde van het produkt vòòr het verwerkingsproces. Deze waarde wordt bepaald door de aanbieder van het produkt in overleg met de verwerker of is een vastgestelde eenheidsprijs (verwijderingsbijdrage);
- * De verwerkingstijd per produkt;
- * De kosten per tijdseenheid. Deze zijn opgebouwd uit de energiekosten, directe arbeidskosten, indirecte arbeidskosten en kapitaalkosten. De kapitaalkosten bestaan uit de afschrijvingen, de rente en het onderhoud van de machines, gebouwen en terreinen;
- * De verkoopprijzen van de samenstellingen, de onderdelen en de materialen.

HOOFDSTUK 4 Database

In het navolgende hoofdstuk wordt een beeld gegeven van de wijze waarop de produktgegevens, die gerelateerd zijn aan de verwerking van een produkt, opgeslagen worden in een database.

Aangegeven zal worden wat de mogelijkheden zijn van de database ten aanzien van de presentatie van de gegevens en eventuele bewerkingen ervan. Tot slot worden een aantal eigenschappen van de database toegelicht en worden de economische parameters, die voorkomen in de database, besproken.

4.1 Inleiding

Het doel van het ontwikkelen van een database is het ontwikkelen van een hulpmiddel, dat ingezet kan worden bij de verwerking van samengestelde massa consumptiegoederen. De database dient daarbij als opslagmedium van gegevens met betrekking tot de verwerking van de produkten. Verder heeft de database een informatiefunctie, die vertaald is in een aantal selecties en bewerkingen, die uitgevoerd kunnen worden op de gegevens in de database (uitvoer). De uitvoer van de database dient ter ondersteuning van beslissingen aangaande de verwerking van de produkten. De gebruiker van de database wordt hierbij gedefinieerd als de baas van een verwerkingsbedrijf van discrete produkten.

Bij de ontwikkeling van de database voor de verwerking van samengestelde massa consumptiegoederen is gebruik gemaakt van het programma "Paradox for Windows". Paradox for Windows is een relationeel databaseprogramma. Een relationele database is een verzameling onderling verbonden tabellen met gegevens [17]. Paradox is een computerprogramma, waarmee ingewikkelde databaseproblemen met relatief eenvoudige middelen kunnen worden opgelost. Het programma is derhalve in staat tot:

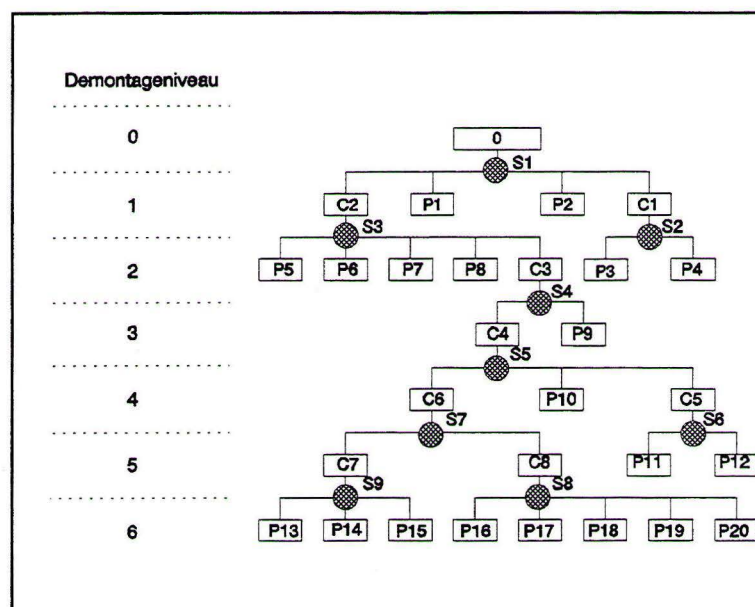
- * Het opslaan van informatie over dezelfde elementen in meerdere tabellen en deze tabellen op een zinvolle manier te verbinden;
- * Het onttrekken van informatie van meerdere tabellen aan de hand van het stellen van vragen aan de database;
- * Het bewerken van informatie in de vorm van één-naar-veel-relaties en de veel complexere veel-naar-veel-relaties;
- * Het uitvoeren van rekenkundige bewerkingen op de gegevens in de database.

4.2 Opbouw van de database.

Alvorens in te gaan op de opbouw van de database is het nodig om een aantal begrippen, zoals die binnen de database gehanteerd worden, toe te lichten.

Een produkt (met een "0" aangegeven in figuur 15) wordt door middel van het uitvoeren van demontageactiviteiten ("S") opgedeeld in samenstellingen ("C") en onderdelen ("P"). Samenstellingen worden door middel van een demontageactiviteit gedemonteerd in één of meerdere samenstellingen en één of meerdere onderdelen. Een samenstelling wordt gedemonteerd totdat alleen nog maar onderdelen overgebleven zijn. Een demontageactiviteit bestaat uit het verbreken van een verbinding. Voorbeelden hiervan zijn onder andere lijm-, schroef- en klemverbindingen. Wanneer een demontageactiviteit is uitgevoerd, betekent dat, dat er een niveau afgedaald is in de demontageboom van het produkt. Een produkt bevindt zich op demontageniveau 0, wanneer er aan het produkt nog geen demontageactiviteiten zijn uitgevoerd.

De specifieke gegevens ten aanzien van het produkt, de samenstellingen, de onderdelen, de verbindingen en de materiaalgegevens worden opgehangen aan de demontagestructuur van het produkt. De navolgende figuur is een afbeelding van de demontagestructuur van een IBM-toetsenbord van een computer, zoals die bij TNO is toegepast.



Legenda: 0 = Uitgangspunkt;
 S = Demontageactiviteit;
 C = Samenstelling;
 P = Onderdeel.

Figuur 15: Een demontagestructuur van een toetsenbord van een computer.

4.2.1 Invoerszijde van de database

De gegevensverzamelingen aan de invoerszijde van de database zijn op te delen in de categorieën: produkt, samenstelling, onderdeel, materialen en verbindingen. De genoemde

gegevensverzamelingen worden opgeslagen met behulp van de demontagestructuur van het produkt. De gegevensvelden per gegevensverzameling worden opgesomd in tabel 2.

Produkt	Samenstelling	Onderdeel	Materialen	Verbindingen
Produktcategorie	Samenstellingscode	Onderdeelcode	Materiaaltype	Verbindingscode
Produktnaam	Samenstellingsnaam	Onderdeelnaam	Materiaalnaam	Verbindingsnaam
Handelsnaam	Aantal samenstellingen	Aantal onderdelen	Handelsnaam	Details van de demontage
Producent	Gewicht per samenstelling	Gewicht per onderdeel	Handelscode	Demontagetijd
Gewicht	Lengte	Vervuiling	Fabrikant	Standaard demontagetijd
Lengte	Breedte	Lengte	Kleur	Problemen
Breedte	Hoogte	Breedte	Kleurcode	Gereedschap
Hoogte	Materiaalprijs	Hoogte	Toevoegingen	Geschiktheid voor automatiseren
Totaal produktievolume	Tekening	Waardevolle materialen	Brandvertragende stoffen	
"expected return rate"	Foto	Materiaalprijs	Zware metalen	
Verwachte levensduur	Schema	Tekeningnummer	Materiaal categorie	
Materiaalprijs		Tekening	Recyclebaar (ja/nee)	
Tekening		Foto	Gevaarlijk afval (ja/nee)	
Foto		Schema	Samenstelling materialen	
Schema				

Tabel 2: De gegevensverzamelingen van de database.

Verder wordt van de demontageactiviteit de (demontage-) stapcode, de stapnaam, het staptype en het demontageniveau, waarop de demontageactiviteit wordt uitgevoerd, bijgehouden. Het uurtarief is gekoppeld aan het staptype. Het staptype verbindt het uurtarief aan de stapcode, die wordt ingevoerd bij de demontageactiviteit. Bij de optie voor het opnieuw opslaan van de gegevens zijn de gebruikte stapcodes en de daarbij behorende uurtarieven ondergebracht. Het wijzigen van een uurtarief heeft tot gevolg dat de activiteiten met overeenkomstige stapcodes integraal worden gewijzigd. De optie voor het opnieuw opslaan van de gegevens wordt gebruikt wanneer de invoergegevens zijn gewijzigd. Om de nieuwe gegevens beschikbaar te hebben aan de uitvoerzijde van de database, is het nodig om gebruik te maken van de genoemde optie.

Van de samenstellingen en onderdelen wordt bijgehouden op welk demontageniveau zij vrijkomen en uit welk produkt of welke samenstelling, een cluster van samenstellingen en onderdelen voortkomt.

4.2.2 Uitvoerzijde van de database

De uitvoerzijde van de database kent een drietal soorten gegevens. De uitvoergegevens hebben betrekking op de demontage van het produkt, de materialen en de economische kant van het demonteren van het produkt. De wijzigingen met betrekking tot de economische uitvoergegevens zijn uitgevoerd ten tijde van het afstudeeronderzoek. Het genoemde drietal uitvoergegevens zal worden beschreven met de daarbij behorende overzichten van gegevens.

A. Gegevens met betrekking tot de demontage van het produkt:

In dit gedeelte van de database worden de navolgende overzichten getoond:

1. De demontagestappen: Dit is een overzicht van de demontagestappen die doorlopen worden, bij de verwerking van het produkt. Per demontageslap wordt de stapcode, de stapnaam en het demontageniveau, waarop de demontageslap plaatsvindt, getoond. Het is echter mogelijk om meer gedetailleerde informatie op te vragen per demontageslap.

2. De samenstellingen: Een overzicht van de samenstellingen, die vrijkomen bij de verwerking van het produkt. Van een samenstelling wordt de samenstellingscode, de samenstellingsnaam, het aantal samenstellingen en het totaal aantal samenstellingen van het produkt getoond. Het totaal aantal samenstellingen wordt bepaald door de vermenigvuldiging van het aantal demontagestappen, waarbij dezelfde samenstellingen vrijkomen, met het aantal samenstellingen dat vrijkomt per demontageslap. Het is mogelijk met de aanwezige detailfunctie om meer specifieke informatie op te vragen van de afzonderlijke samenstellingen.

3. De onderdelen: Bij de onderdelen wordt een gelijksoortig overzicht getoond, als bij de samenstellingen. Van een onderdeel wordt de onderdeelcode, de onderdeelnaam, het aantal onderdelen en het totaal aantal onderdelen van het produkt getoond. Ook hier is het mogelijk om meer specifieke informatie van de onderdelen op te vragen.

4. De demontagetijden: Bij een demontagetijd wordt de tijd getoond, die het kost om de samenstelling of het onderdeel te ontsluiten conform de ingegeven wijze van afbreken. Van de samenstelling of het onderdeel wordt de code, de naam en het aantal getoond. De demontagetijd van een onderdeel of een samenstelling wordt bepaald door de optelling van de tijden van alle demontageactiviteiten, die voorafgaan aan het ontsluiten van de samenstelling of het onderdeel. De demontagetijd van onderdeel "P10" van het toetsenbord wordt bepaald door de optelling van de demontagetijden van "S1", "S3", "S4" en "S5". Hierbij worden de demontagetijden van "S1", "S3", "S4" en "S5" niet verdeeld over de onderdelen en samenstellingen, die ook vrijkomen bij het uitvoeren van de genoemde demontagestappen.

De demontagetijden geven een indruk van de tijd, die het kost om een onderdeel of een samenstelling binnen de gegeven demontagestructuur te ontsluiten.

B. Gegevens met betrekking tot de materialen van het produkt:

In dit gedeelte van de database worden de navolgende zaken weergegeven:

1. Materiaalcategorie informatie: Het betreft een overzicht van de materiaalcategorieën, waaruit het produkt is opgebouwd. In de database zijn de materiaalcategorieën metaal,

kunststoffen, papier, hout en keramiek ondergebracht. Per materiaalcategorie is het totale gewicht van het produkt, dat uit deze materiaalcategorie bestaat, gecombineerd met een percentage van het totale gewicht van het produkt vastgelegd.

2. Detailinformatie van de kunststof onderdelen: In dit overzicht wordt van de kunststofonderdelen van het produkt alle informatie, zoals die beschreven staat in tabel 2 voor de gegevensverzameling materialen, getoond.

3. Gewichten van de kunststof onderdelen: Per kunststof onderdeel wordt het aandeel van kunststoffen en het totaal gewicht aan kunststoffen per onderdeel getoond. Van de totale gewichten van de kunststoffen per onderdeel wordt een optelsom gemaakt, die het totale gewicht aan kunststoffen aanduidt van het gehele produkt.

4. Gevaarlijk afval: De onderdelen, die uit gevaarlijk afval bestaan staan genoteerd in een tabel, aangevuld met de gewichten van de onderdelen. De gewichten van de onderdelen worden opgeteld tot een totaal gewichtsaandeel van gevaarlijk afval in het produkt en wordt gecombineerd met het gewichtspercentage gevaarlijk afval van de onderdelen in relatie tot het gewicht van het complete produkt.

5. Waardevolle materialen: Het overzicht met waardevolle materialen is identiek aan het overzicht van het gevaarlijk afval van de onderdelen. Voor de recyclebare onderdelen (6) is dat eveneens het geval.

C. Gegevens met betrekking tot het economische gedeelte.

De invoervariabelen van het economische gedeelte van de database bestaan uit een aantal door de gebruiker te onderscheiden uurtarieven. De uurtarieven zijn gekoppeld aan de activiteiten, die worden toegepast bij de verwerking van het produkt. Verder worden aan de invoerzijde van de database de materiaalprijzen van het produkt, de samenstellingen en de onderdelen, ingegeven.

De uurtarieven in combinatie met de tijd die nodig zijn voor de verwerkingsactiviteiten bepalen de kostprijs voor de uitvoering ervan. De materiaalprijzen gecombineerd met de gewichten van het produkt, de samenstellingen en de onderdelen en de aantallen samenstellingen en onderdelen geven een materiaalwaarde aan het produkt, de samenstellingen en de onderdelen. Wanneer de kostprijzen van de activiteiten en de materiaalprijzen zijn samengevoegd, zijn diverse vragen beantwoord in de database. Om een indruk te krijgen van de opbouw van het produkt gezien vanuit het kostenaspect, de materiaalwaarde en de combinatie hiervan, zullen achtereenvolgend behandeld worden de:

1. Toegevoegde kosten per niveau;
2. Materiaalwaarde per niveau;
3. Totale toegevoegde waarde per niveau;

4. Toegevoegde waarde per (demontage-) activiteit;
5. Verwerkingsbijdrage;
6. Demontageprestatie per onderdeel;
7. Kostprijs van de materialen.

1. Toegevoegde kosten per niveau: Hierbij moet gedacht worden aan de kosten, die toegevoegd worden aan het produkt tijdens de verwerking in samenstellingen en onderdelen. Ze geven een indruk van de hoogte van de financiële inspanning, die geleverd moet worden om een bepaald demontageniveau te doorlopen. Denkbaar is, dat bij een steeds verdergaande opdeling van het produkt in samenstellingen en onderdelen, de kosten om dat te realiseren meer dan proportioneel kunnen gaan toenemen.

2. Materiaalwaarde per niveau: Hieronder wordt verstaan de waarde van de samenstellingen en onderdelen die na demontage van het produkt op een bepaald niveau vrijkomen. Uit die gegevens is af te leiden, op welk niveau in het produkt de grootste materiaalwaarde wordt gerealiseerd. Bij de ontwikkeling van de materiaalwaarde van het produkt wordt er van uitgegaan dat naarmate meerdere verwerkingsniveaus zijn doorlopen, de cumulatieve materiaalwaarde meer dan proportioneel gaat toenemen. Omdat de samenstellingen en onderdelen die vrijkomen zuiverder van materiaalsamenstelling zijn naarmate het produkt verder opgedeeld wordt en dien overeenkomstig een grotere waarde vertegenwoordigen.

3. Totale toegevoegde waarde per niveau: Dit is de optelsom van de toegevoegde kosten en de materiaalwaarde per niveau. Met behulp van de totale toegevoegde waarde per niveau, kan een uitspraak gedaan worden over het niveau waarop het economisch gezien, het meest gewenst is om het produkt te verwerken.

4. Toegevoegde waarde per stap: Stapsgewijs wordt het effect getoond van de uitvoering van een bepaalde verwerkingsactiviteit, gerelateerd aan de waarde van de materialen vòòr en nà de uitvoering van de verwerkingsactiviteit in combinatie met de inspanning, die geleverd moet worden, uitgedrukt in de tijd die vermenigvuldigd is met een uurtarief. Aangezien een niveau uit meerdere stappen kan bestaan, is de opbrengst per stap een nadere uitwerking van de opbrengst per niveau. Er kan aldus een uitspraak gedaan worden over de opbrengst van één afzonderlijke activiteit binnen het geheel van activiteiten.

5. De verwerkingsbijdrage: Dit zijn de kosten, die verbonden zijn aan het verwerken van het produkt. Wanneer het produkt met een bepaalde waarde het verwerkingstraject ingaat, kan beoordeeld worden of de gekozen verwerkingsstructuur rendeert of niet.

6. Demontageprestatie per onderdeel: De route van de verkregen onderdelen wordt bepaald door de gekozen verwerkingsstructuur van het produkt. De combinatie van de kosten van de activiteiten, die uitgevoerd moeten worden om het betreffende onderdeel te

verkrijgen, met de materiaalwaarde van het verkregen onderdeel resulteert in een prioriteitsgetal voor het betreffende onderdeel. Uit deze informatie kan worden afgeleid, welke onderdelen binnen een bepaalde demontagestructuur interessant zijn om te herwinnen. Hetgeen aanleiding kan zijn voor een andere opzet van de demontageboom.

7. Kostprijs van de materialen: De kosten, die verbonden zijn aan de herwinning van de materialen uit het produkt bepalen de kostprijs ervan. De kosten, die verbonden zijn aan de uitvoering van de demontageactiviteiten worden verdeeld over de vrijgekomen samenstellingen en onderdelen, die een positieve opbrengstwaarde hebben. Voor deze werkwijze is gekozen vanwege het feit dat het niet zinvol is kosten toe te wijzen aan onderdelen, die een negatieve materiaalwaarde (stortprijs) hebben. De vergelijking van de kostprijs van de vrijgekomen materialen met hun marktwaarde geeft een overzicht van de winst c.q. het verlies bij de verkoop van die materialen.

4.3 Eigenschappen van de database

In deze paragraaf worden een vijftal eigenschappen van de database toegelicht. Achtereenvolgend worden de aspecten gebruikersvriendelijkheid, redundantie, onderhoud, integriteit en rapportage behandeld.

1. Gebruikersvriendelijkheid

Onder het begrip gebruikersvriendelijkheid wordt verstaan dat een gebruiker, die geen ervaringen heeft met een computerprogramma of database, zich relatief snel kan aanleren om er mee te werken. Dit betekent dat een computerprogramma of database logisch moet zijn opgebouwd. De ingevoerde gegevens moeten op een relatief eenvoudige wijze te veranderen zijn en moeten makkelijk opvraagbaar zijn.

De door TNO ontwikkelde database is logisch van opbouw, de gegevens zijn te muteren en de gegevens worden getoond aan de uitvraagzijde van de database. Ondanks het feit dat alle genoemde aspecten zijn vertegenwoordigd in de database doen zich toch een aantal problemen voor die samenhangen met de wijze waarop de gegevens worden ingevoerd. Het invoeren van de gegevens is afgestemd op de demontagestructuur van een produkt. Van een produkt of een samenstelling wordt de activiteit aangegeven volgens welke deze wordt gedemonteerd. Na het invoeren van een verwerkingsactiviteit bij een produkt of een samenstelling daalt men één niveau af in de demontagestructuur van het produkt. Aangekomen bij het volgende niveau kan worden aangegeven welke samenstellingen en onderdelen vrijkomen bij de uitvoering van de verwerkingsactiviteit. Van de onderdelen kunnen tenslotte de materiaalgegevens worden ingevoerd. De verbindingen die worden verbroken bij het uitvoeren van de verwerkingsactiviteiten kunnen geselecteerd worden uit een verzameltabel.

Het produkt weergegeven in figuur 15 bestaat uit zes niveaus. Om de materiaalgegevens

van een onderdeel op het laagste niveau in te voeren moeten ongeveer 15 "schermen" worden doorlopen. Met een "scherm" wordt een computerbeeld bedoeld. Een scherm biedt de mogelijkheid tot het invoeren van gegevens. Het verplicht doorlopen van zo veel schermen voor het invoeren van een relatief eenvoudig produkt is irriterend voor de gebruiker. Het wijzigen van een materiaalgegeven van een onderdeel op het laagste niveau in de verwerkingsstructuur houdt in dat alle tussenliggende schermen vanaf het punt, waar de gebruiker zich bevindt, doorlopen moet worden. Bij het "wandelen" door de verwerkingsstructuur, maar ook bij het ingeven van de gegevens, heeft de gebruiker een "kaart" nodig. Anders zou hij de "weg" volledig kwijt raken. Met een "kaart" wordt een gestructureerde weergave van de informatie van het produkt bedoeld. Het heeft ongeveer drie uren gekost om de gegevens van figuur 15 te structureren en in te voeren. Overigens is er géén gebruikershandleiding van de database beschikbaar.

2. Redundantie

Het begrip redundantie is van toepassing, wanneer bijvoorbeeld van een overeenkomstige samenstelling van produkt A en produkt B bij beide produkten afzonderlijk de gegevens met betrekking tot deze samenstelling moeten worden ingevoerd. Dit heeft tot gevolg dat dezelfde gegevens op meerdere plaatsen in de database worden opgeslagen. Om een idee te krijgen welke vormen redundantie aan kan nemen is de televisie, die door Sony is ingevoerd, een goed voorbeeld. De produktgegevens van de televisie nemen ongeveer 10 Megabite aan geheugen in beslag. Een televisieproducent maakt per jaar al gauw 100 verschillende modellen. Het opslaan van het volledig assortiment heeft een geheugencapaciteit nodig van 1.000 Megabite, wanneer géén gebruik zou worden gemaakt van het overnemen van dezelfde samenstellingen en onderdelen.

In de database is het niet mogelijk om samenstellingen en onderdelen, die reeds zijn ingevoerd, in een tabel te selecteren. Het kiezen van "standaard"-verbindingen uit een tabel is in de huidige opzet van de database wel mogelijk gemaakt. De benodigde geheugencapaciteit voor de opslag van produktgegevens kan worden gereduceerd, wanneer de mogelijkheid voor het selecteren van samenstellingen en onderdelen zou worden toegevoegd aan de database.

3. Onderhoud

De mate van redundantie van gegevens in de database bepaalt onder andere de onderhoudsvriendelijkheid ervan. Het aanpassen van bijvoorbeeld de materiaalprijs van een specifiek onderdeel, dat meerdere malen voorkomt in overeenkomstige produkten, is een bijna onuitvoerbare handeling. Om de materiaalprijs te kunnen veranderen is informatie vereist over de produkten, waarin het onderdeel zich bevindt en op welk verwerkingsniveau het onderdeel vrij komt. Deze informatie is niet te genereren met behulp van de database. Het "up-to-date" houden van de gegevens in een hiërchisch opgezette database

is een complexe en een tijdrovende activiteit.

4. Integriteit

In de database is geen aandacht besteed aan de integriteit van gegevens. Het vastleggen van bevoegdheden voor gebruikersgroepen komt niet tot uitdrukking in de huidige opzet van de database. Voorbeelden van bevoegdheden zijn: de mogelijkheid tot het invoeren van nieuwe gegevens, het muteren van oude gegevens, het inzien van gegevensbestanden en het onttrekken van gegevens aan de database. Bij de huidige database is het voor iedereen mogelijk die toegang heeft tot de database om gegevens toe te voegen, op te vragen, te veranderen en te distribueren.

5. Rapportage

Een database moet de mogelijkheid bieden om de gegevens te tonen op het computerscherm of de gegevens af te drukken. De ingevoerde gegevens zijn in te zien aan de uitvoerzijde van de database. Het is echter niet mogelijk om de gegevens af te laten drukken.

4.4 Economische parameters in de database

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de wijze waarop de produktgegevens worden opgeslagen in de database. Vervolgens is beschreven wat de mogelijkheden zijn voor het uitvoeren van bewerkingen op de ingebrachte gegevens. Tot slot wordt in deze paragraaf aandacht besteed aan de vraag in hoeverre de onderscheiden parameters in hoofdstuk 3 terug te vinden zijn in de database.

De ingangsprijs van een produkt is vertaald in de materiaalprijs per gewichtseenheid. Dit gecombineerd met het gewicht van het produkt geeft de ingangsprijs van het produkt vòòr het verwerkingsproces. De verwijderingsbijdrage voor één produkt kan niet ingevoerd worden, maar moet omgerekend worden naar een gemiddelde materiaalprijs per gewichtseenheid.

De database biedt de mogelijkheid om de demontagetijd van een afzonderlijke verbinding in te voeren. De optelsom van meerdere verbindingen bepaalt de demontagetijd van een verwerkingsactiviteit. Alle activiteiten gezamenlijk geeft de totale verwerkingstijd van een produkt, zoals dat ook in hoofdstuk 3 wordt gehanteerd.

De energiekosten, de directe arbeidskosten, de indirecte arbeidskosten en de kapitaalkosten zijn samengevoegd in een uurtarief. Het uurtarief bepaalt de kosten van de verwerking per tijdseenheid. De uurtarieven zijn via staptypes gekoppeld aan een set van gelijksoortige te onderscheiden verwerkingsactiviteiten. Het aangeven van het staptype bij de verwerkingsactiviteit bepaalt welk uurtarief wordt toegepast voor het berekenen van de kosten.

De verkoopprijzen van de samenstellingen en de onderdelen zijn aan te geven met een materiaalprijs per gewichtseenheid. De verkoopprijs van een materiaal is niet opgenomen in de database, omdat de verkoopprijs van een onderdeel bestaande uit meerdere materialen niet bepaald wordt door de optelsom van de materiaalprijzen, die voorkomen in het onderdeel.

HOOFDSTUK 5 Economisch model

Met behulp van de database, zoals die beschreven is in hoofdstuk vier is het mogelijk om een produkt door te rekenen op een aantal bedrijfseconomische aspecten. De database geeft géén antwoord op de vraag hoe het produkt uiteindelijk op basis van de ingegeven informatie verwerkt moet worden. In het navolgende hoofdstuk zal een antwoord gegeven worden op de vraag hoe gekomen kan worden tot een economisch optimum bij de verwerking van een produkt. Voordat ingegaan gaat worden op het bepalen van een economisch optimum voor de verwerking van een produkt zal uiteengezet worden wat de doelstellingen van het economisch model zijn en voor welke doelgroep van verwerkers het economische model geschikt zou kunnen zijn. Vervolgens worden de gegevensvelden aangegeven, die nodig zijn. Daarna zal een methode behandeld worden waarmee de kosten van de verwerkingsactiviteiten te bepalen zijn. Tenslotte zal een methodiek behandeld worden om te komen tot de bepaling van een economisch optimum.

5.1 Doelstellingen economisch model

Voordat overgegaan wordt tot het bepalen van een economisch model moet de doelstelling van het model duidelijk worden omschreven. De opdrachtformulering gaat uit van een economisch model voor de selectieve verwerking van samengestelde produkten. Selectieve verwerking van samengestelde produkten op economische gronden houdt in dat het model in staat moet zijn om:

De toegevoegde waarde van de verwerking van een samengesteld discreet produkt binnen de geldende milieuwetgeving te maximaliseren.

Onder de toegevoegde waarde van een produkt wordt het verschil verstaan tussen de opbrengsten en de kosten. De kosten van verwerking worden bepaald door de kosten van arbeid, investeringen en storten/verbranden van materialen. De opbrengsten bestaan uit een verwerkingspremie of de verkoopwaarde van materialen. Om de toegevoegde waarde te maximaliseren moeten de verwerkingskosten per produkt worden teruggedrongen en de opbrengsten per produkt worden verhoogd. Het model moet in staat zijn de optimale verwerkingsvolgorde te bepalen om te komen tot een maximale toegevoegde waarde per produkt.

5.2 Benodigde gegevensverzamelingen

De gegevensverzamelingen die nodig zijn voor het opzetten van een economisch model, zijn afhankelijk van de doelstelling en de doelgroep van gebruikers van het economische model. In de voorgaande paragraaf is aangegeven wat de doelstelling is bij de selectieve

verwerking van een produkt. De formulering van de doelstelling impliceert een nauwkeurige set van gegevens, om te komen tot een juiste afweging van de economisch beste verwerkingsvolgorde.

De doelgroepen waar een dergelijk model op van toepassing zou kunnen zijn, zijn te onderscheiden naar de componenten die vrijkomen bij de verwerking van het produkt. Bij de verwerking van produkten kunnen bruikbare onderdelen, bruikbare materialen en onbruikbare materialen ontstaan. De winstgevendheid van een verwerkingsproces wordt bepaald door de verhouding tussen de bruikbare delen van het produkt en de onbruikbare delen. Over het algemeen kan gezegd worden dat bedrijven die zich richten op het herwinnen van materialen moeten worden gesubsidieerd of er moet sprake zijn van een groot aandeel waardevolle materialen, zoals: goud, zilver en palladium. Andere karakteristieken van bedrijven die zich voornamelijk richten op het herwinnen van materialen is dat er geen produktinformatie aanwezig is, dat het produktaanbod niet homogeen is en dat het inzamelen van de produkten los staat van het afzetkanaal van de produkten.

Een andere groep van verwerkers richt zich in de eerste plaats op het herwinnen van bruikbare onderdelen, die kunnen worden ingezet bij de productie van nieuwe produkten. De materialen die bij het verwerkingsproces vrijkomen worden verkocht aan grondstoffenverwerkers. Tot slot wordt bij de ontwikkeling van nieuwe produkten het aandeel van de onbruikbare materialen, die gestort of verbrand moeten worden geminimaliseerd. Deze groep van verwerkers heeft het verwerkingsproces geïntegreerd in het productieproces en de kosten van het recyclen worden verhaald op de consumenten. Andere karakteristieken van deze groep van verwerkers zijn dat de produktinformatie aanwezig is, dat het produktaanbod homogeen is en dat het afzetkanaal van de produkten gebruikt wordt voor de inzameling van de afgedankte produkten.

Gezien de doelstelling van het economische model en de karakterisering van mogelijke verwerkers, die als toekomstige doelgroepen gedefinieerd zouden kunnen worden, zijn er twee hulpmiddelen om het gestelde maximalisatieprobleem op te lossen. Het ontwerpen van een rekenmodel of een database. Het onderscheidt tussen een database en een rekenmodel wordt bepaald door de hoeveelheid benodigde informatie. Een database bevat een grotere hoeveelheid gegevens van de produkten dan een rekenmodel. Terwijl een database zowel kwantitatieve- als kwalitatieve gegevens bevat, richt een rekenmodel zich met name op de kwantitatieve aspecten van het verwerkingsproces van de produkten.

Gezien de beperkte aanwezigheid van produktinformatie bij een verwerker, die zich voornamelijk richt op het herwinnen van bruikbare materialen (de groep van verwerkers waarop het Europese onderzoek zich heeft gericht bij de ontwikkeling van de database) ligt de ontwikkeling van een rekenmodel meer voor de hand dan het opzetten van een database. Daarnaast is het produktaanbod van deze verwerkers zo divers, dat het ondoenlijk is om de benodigde informatie te verzamelen om de database van hoofdstuk vier te vullen. De tijd, die het zou kosten om de benodigde informatie te verzamelen, wordt niet gerechtvaardigd door de relatief lage opbrengsten van de materialen. Een verwerker die zich in de eerste plaats richt op het herwinnen van onderdelen is de produktinformatie wel aanwezig, is het produktaanbod vrij homogeen, zijn de opbrengsten

hoger door het hergebruiken van samenstellingen en onderdelen. De mogelijkheid tot het inzetten van herwonnen samenstellingen en onderdelen in het bedrijfsproces, de aanwezigheid van produktinformatie, een homogeen produktaanbod, het integreren van het recyclingconcept in het bedrijfsproces en het benutten van het afzetkanaal voor het inzamelen van afgedankte produkten zijn factoren, die het verwerkingsproces gunstig beïnvloeden en de toepassing van een database aannemelijker maken in geval van een verwerker die zich in de eerste plaats richt op het herwinnen van bruikbare onderdelen. Om tegemoet te komen aan de doelstelling, die gesteld is in dit hoofdstuk, zal gebruik gemaakt worden van de gegevensvelden, die toegepast zijn in de database. Het aantal gegevensvelden is gereduceerd op basis van het feit dat de betreffende verwerker, die zich hoofdzakelijk richt op materialen niet beschikt over de benodigde produktinformatie. De gegevens zijn onder te verdelen in de gegevens met betrekking tot de verwerking van het produkt (tabel 3) en de gegevens met betrekking tot het bedrijf (tabel 4) waar de verwerking van het produkt plaatsvindt. De uitvoer van de laatste groep gegevens is een uurtarief, dat toegepast wordt bij de bepaling van de kosten van de verwerkingsstappen in het verwerkingsproces. De uitvoer van de eerste groep van gegevens geeft de optimale verwerkingsvolgorde van het produkt.

Produkt	Samenstelling	Onderdeel	Materialen	Verbindingen
Produktcategorie	Samenstellingscode	Onderdeelcode	Materiaalcategory	Verbindingscode
Produktnaam	Samenstellingsnaam	Onderdeelnaam	Materiaaltype	Verbindingsnaam
Handelsnaam	Aantal samenstellingen	Aantal onderdelen	Materiaalnaam	Details van de demontage
Producent	Gewicht per samenstelling	Gewicht per onderdeel	Fabrikant	Demontagetijd
Gewicht	Materiaalprijs	Materiaalprijs	Kleur	Uurtarief
Materiaalprijs				

Tabel 3: Gegevensverzamelingen met betrekking tot de verwerking van het produkt.

Verder wordt van de demontageactiviteit de stapcode, de stapnaam, het staptypen en het demontageniveau, waarop de demontageactiviteit wordt uitgevoerd, bijgehouden. Het uurtarief is gekoppeld aan het staptypen, dat is ingevoerd. Van de samenstellingen en onderdelen wordt bijgehouden op welk demontageniveau de samenstellingen en onderdelen vrijkomen en uit welk produkt of welke samenstelling een cluster van samenstellingen en onderdelen voortkomen.

Personeel	Investeringen	Gebouwen	Allerlei
Functie	Naam investeringsgoed	Naam gebouw/terrein	Totale bedrijfstijd
Loonkosten	Aanschafwaarde	Aantal m ²	Productieve uren
Aantal medewerkers	Afschrijvingstermijn	Kosten per m ² (geb.)	Rentepercentage
	Onderhoudskosten	Kosten per m ² (terr.)	Winstmarge
	Energiekosten	Afschrijvingstermijn	Verzekeringskosten

Tabel 4: Gegevensverzamelingen met betrekking tot het verwerkingsbedrijf.

Voor de opslag van de gegevens kan overeenkomstig de database beschreven in hoofdstuk vier gekozen worden voor "Paradox voor Windows".

5.3 Calculatiemethode

In de navolgende paragraaf wordt in de eerste plaats een overzicht gegeven van de produktgeoriënteerde calculatiemethodes. Vervolgens worden de nadelen van de produktgeoriënteerde technieken besproken om daarna over te gaan tot een korte toelichting van de "Activity Based Costing"-methode, een activiteitgeoriënteerde methode. Het toepassen van een calculatiemethode is nodig, om de beslissingen per verwerkingsactiviteit te ondersteunen. Hiervoor is een calculatiemethode nodig, die op een juiste wijze de kosten toewijst aan de te onderscheiden verwerkingsactiviteiten. Tot slot van de paragraaf wordt het gekozen budgetmodel toegelicht.

5.3.1 Produktgeoriënteerde calculatiemethodes

De produktgeoriënteerde calculatiemethodes, die in Nederland toegepast worden, zijn in drie categorieën onder te verdelen [18]:

1. De integrale kostencalculatie. Hierbij worden alle vervaardigingskosten van een produkt meegenomen in de berekening. Er zijn vier integrale calculatiemethodes:
 - a. de deelcalculatie;
 - b. de equivalentiecijfermethode;
 - c. de toeslagcalculatie;
 - d. de productiecentramethode.De integrale kostencalculatiemethoden worden het frequentst toegepast in ons land.
2. De differentiële kostencalculatie. Hierbij wordt een verband gelegd tussen de toename van de kosten per meer geproduceerde eenheid.
3. Direct costing. Hierbij worden alleen variabele kosten aan de produkten toegerekend. De vaste kosten gaan rechtstreeks naar de resultatenrekening.

De produktgeoriënteerde calculatiemethodes hebben de navolgende nadelen [19]:

- Een produktgeoriënteerde methode houdt geen rekening met niet-proportionele stijgingen en dalingen van overhead-activiteiten in geval van volume diversiteit;
- Verschillen in kostprijs worden veroorzaakt door de verschillen in verdeling van de kosten van de overheadinspanningen;
- Als het assortiment verandert, veranderen alle produktgeoriënteerde kostprijzen;
- Produkten die op een relatief kleine schaal geproduceerd worden, krijgen wanneer ze op de produktgeoriënteerde manier berekend zijn, een kostprijs die te laag is. Produkten die een relatief hoog volume kennen, krijgen een te hoge (produktgeoriënteerde) kostprijs. Met andere woorden: "hoog subsidieert laag";
- Produkten met een relatief grote omvang (lees: verbruik van grondstoffen) krijgen als

gevolg van de produktgeoriënteerde methode een te hoge kostprijs, terwijl produkten van een relatief klein formaat een te lage produktgeoriënteerde kostprijs kennen;

- De kosten worden niet evenredig naar complexiteit over de produkten verdeeld;
- Bij een combinatie van verschillen in volume, omvang en complexiteit worden alle voorgaande effecten versterkt.

5.3.2 Activiteitgeoriënteerde calculatiemethode

De genoemde nadelen van de produktgeoriënteerde calculatiemethodes worden weggenomen door de toepassing van een activiteitgeoriënteerde methode, de "Activity-Based-Costing"-methode (ABC). De ABC-methode heeft bij de calculatie van de kostprijs van een produkt niet als uitgangspunt het produkt, maar de activiteiten, die geleid hebben tot de productie van het produkt. De kenmerken van ABC zijn [19]:

1. Activiteiten zijn aangrijpingspunten voor beheersing en sturing in plaats van produkten, die het noodzakelijk maakten om bepaalde activiteiten uit te voeren;
2. ABC is gebaseerd op een analyse van het voortbrengingsproces die veel dieper dan de meer traditionele systemen gaan. Dit heeft onder andere tot gevolg dat met name de kosteninformatie met betrekking tot allerlei beslissingen in de operationele sfeer (een verwerkingsactiviteit) gegenereerd kan worden;
3. Doordat het niveau van de activiteiten de basis is voor managementinformatie ontstaat een natuurlijke aansluiting bij zaken als Strategische Beleidsvorming (Value Chain van Porter bijvoorbeeld) en vormen van Quality Management;
4. Doordat ABC gegrond is in technische bewerkingen biedt deze methode meer aanknopingspunten voor analyses dan de meer traditionele systemen kunnen, omdat die in feite los van de gebruikte technologie, registreren en rapporteren;
5. In operationele zin komt ABC neer op een "management accounting system" dat men in staat stelt meer-dimensionaal naar ondernemingsprestaties te kijken: resultaten per activiteit (sturing!), resultaten per klant (type), per distributiekanaal, per regio, per klantorder, per serie, enz.

5.3.3 Budgetmodel

In het budgetmodel worden de personele kosten en de kosten van investeringen in gebouwen en machines omgezet in uurtarieven, die in de database worden gebruikt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de gebudgetteerde kosten op basis van een gebudgetteerd aantal te verwerken produkten. In de eerste stap bij het toewijzen van kosten aan groepen van activiteiten, waarvoor hetzelfde uurtarief gaat gelden, wordt gebruik gemaakt van het activiteit-denken, zoals dat toegepast wordt bij de ABC-methode. De nadelen van de produktgeoriënteerde calculatiemethodes in het geval van een meer-produkt situatie zijn niet van toepassing, omdat het budgetmodel wordt toegepast in een één-produkt situatie. Daarbij zijn de indirecte kosten c.q. "overhead" van marginale omvang ten opzichte van

de directe kosten van de verwerkingsbedrijven. Bij één van de verwerkingsbedrijven is een situatie aangetroffen waarbij een groep van twintig demontagewerkers direct leiderschap geniet van één enkele (baas) voorman die zelf meewerkt. In tegenstelling tot een productiebedrijf beschikt een verwerkingsbedrijf van afgedankte produkten niet over een "Research & Development"-afdeling. De aankoop van produkten, de verkoop van materialen, het verzorgen van de aan- en afvoer van produkten en materialen wordt vaak door één persoon gedaan. Terwijl deze activiteiten bij productiebedrijven ondergebracht zijn in afdelingen. Het toepassen van de ABC-methode, die veel aandacht besteedt aan het toewijzen van de kosten veroorzaakt door de "overhead", is daarom niet gegrond.

Een groep aansluitende handelingen wordt bij de ABC-methode als één activiteit gedefinieerd. Uitgangspunt bij het budgetmodel is het verdelen van de verwerkingsactiviteiten in de database in groepen van activiteiten die overeenkomstige eigenschappen hebben. Een lage mechanisatiegraad van activiteiten kan een gemeenschappelijke eigenschap zijn tegenover een hoge mate van mechanisatie. Bij de verwerking van koelkasten zijn, het verwijderen van de glasplaat en het elektrische snoer, het aftappen van de cfk's en het losknippen van de compressor, activiteiten die laag gemechaniseerd zijn. Het shredderen van het restant van de koelkast, het ontgassen van het pur-schuim en het scheiden van de materialen zijn juist activiteiten, die volledig gemechaniseerd zijn.

Na het aanbrengen van de scheidingen in soorten activiteiten worden van alle groepen van activiteiten de navolgende gegevens bepaald:

- Het benodigde aantal medewerkers voor het uitvoeren van de activiteit gebaseerd op een normhoeveelheid te verwerken produkten per jaar tegen een bepaald jaarsalaris;
- De aanschafwaarde, de afschrijvingstermijn, de energiekosten, de verzekeringskosten en de onderhoudskosten van het aantal benodigde machines op jaarbasis. De energiekosten, de verzekeringskosten en de onderhoudskosten kunnen ondergebracht worden bij de activiteiten, maar kunnen ook opgevoerd worden als kosten voor het gehele bedrijf;
- De hoeveelheid benodigde ruimte. De ruimte kan bestaan uit een aantal vierkante meters gebouw en een aantal vierkante meters terrein. Voor het gebouw en het terrein kunnen verschillende tarieven gelden;
- Het aantal benodigde uren op jaarbasis voor het uitvoeren van de groep van activiteiten. Dit is gelijk aan het aantal uren dat het bedrijf per jaar operationeel is of het aantal medewerkers die zijn ingezet bij de activiteit, vermenigvuldigd met het aantal werkbare uren van één medewerker. Het aantal werkbare uren van een werknemer wordt bepaald door het aantal beschikbare uren te verminderen met een gemiddeld aantal uren voor ziekte en verlof.

Bij deze gegevens wordt uitgegaan van een normale bezetting van het bedrijf.

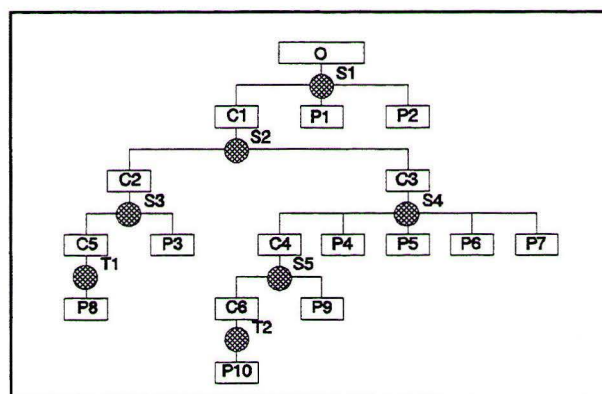
Kosten, die niet direct kunnen worden toegewezen aan een groep van activiteiten, worden verzameld onder de noemer "indirecte kosten". Hieronder worden medewerkers verstaan, die een leidinggevende functie hebben en niet deelnemen aan het verwerkingsproces. De computer van de secretaresse is ook niet direct toe te wijzen aan het verwerkingsproces en

wordt dus ook tot de indirecte kosten gerekend. De energiekosten (gas, water en elektriciteit) kunnen aan de afzonderlijke groepen van activiteiten worden toegewezen, maar kunnen ook als indirecte kostenpost opgevoerd worden. Hetzelfde geldt voor de kosten voor het verzekeren van het bedrijfspand en de inboedel. Tot slot kan een winstmarge aangegeven worden in het uurtarief. De grootte van de winstmarge wordt bepaald door het nemen van een percentage van de kosten van de directe activiteiten en de indirecte kosten.

De indirecte kosten worden met behulp van verdeelsleutels, die afhankelijk zijn van de bedrijfssituatie, toegewezen aan de groepen van activiteiten. Per groep van activiteiten wordt het uurtarief bepaald door de som van de kosten gedeeld door het aantal uren. In bijlage 1 en 2 worden van twee produkten de uurtarieven bepaald. De geschetste berekening is vertaald in een spreadsheetprogramma.

5.4 Bepaling van de optimale demontagestructuur

De uurtarieven voor de verschillende te onderscheiden activiteiten zijn bepaald met behulp van het budgetmodel. Met de bepaalde uurtarieven is het mogelijk, wanneer bekend is hoeveel tijd besteed is aan een afzonderlijke activiteit, de kosten van de verwerkingsactiviteit vast te leggen. Met deze gegevens is het mogelijk in combinatie met de materiaalprijzen van het produkt, de samenstellingen en de onderdelen om een optimale verwerkingsvolgorde voor een produkt te bepalen. Voor het doorrekenen van de demontagestructuur is gebruik gemaakt van lineair programmeren. Met behulp van lineair programmeren is het mogelijk om complexe situaties snel door te rekenen. Als voorbeeld-
produkt dient het IBM-toetsenbord, zoals dat door de Mann-organisatie in Schotland



Figuur 16: De demontagestructuur van een IBM-toetsenbord door de Mann-organisatie.

wordt verwerkt (zie figuur 16). De eigenschappen van het produkt, de samenstellingen en de onderdelen zijn weergegeven in tabel 5.

Niveau	Onderdeelcode/ Samenstellingscode	Onderdeelnaam/ Samenstellingsnaam	Massa (gr)	Materiaal­soort	Materiaal­prijs (f/gram)
0	0	Toetsenbord	930,88	Afval	- 0,00030
1	P1	Toetsen	172,50	Afval	- 0,00030
	P2	Schroeven	1,60	Staal	0,00014
	C1	Toetsenbord	756,78	Afval	- 0,00030
2	C2	Bovenkant	276,70	Afval	- 0,00030
	C3	Toetsenbord	480,08	Afval	- 0,00030
3	P3	Fabriekslogo	10,30	Afval	- 0,00030
	P4	Connectoren	29,58	Afval	- 0,00030
	P5	Rubberen doek	20,30	Rubber	0,00050
	P6	Schild	12,00	?	0,00050
	P7	Allerlei	93,40	Afval	- 0,00030
	C4	Onderkant	324,80	Afval	- 0,00030
	C5	Bovenkant	266,40	Polycarbonaat	0,00100
4	P8	Bovenkant	266,40	Polycarbonaat	0,00200
	P9	Stickers en (*)	46,40	Afval	- 0,00030
	C6	Onderkant	278,40	Polycarbonaat	0,00100
5	P10	Onderkant	278,40	Polycarbonaat	0,00200

Tabel 5: Produktgegevens van het IBM-toetsenbord.

(*) staat voor anti-slip rubber­tje.

De stappen "S1" tot en met "S5" zijn handmatige demontage­activiteiten, waarvoor een uurtarief geldt van f 20,-- (= f 0,00556 per seconde). Het uurtarief is gebaseerd op de in Schotland geldende uurtarieven. Na het handmatig demonteren, volgen de shredder­activiteiten "T1" en "T2", waarvoor een uurtarief geldt van f 50,-- (= f 0,01389 per seconde). De stapcodes met de daarbij behorende demontagetijden staan vermeld in tabel 6.

Stapcode	Demontagetijd (s)
S1	25
S2	5
S3	7
S4	30
S5	7
T1	3
T2	3

Tabel 6: De demontagetijden van het IBM-toetsenbord gedemonteerd door de Mann-organisatie.

De verwerking van het toetsenbord begint met stap "S1", die bestaat uit het verwijderen van de toetsen met een hulpmiddel en het losmaken van de schroeven. Daarna wordt het toetsenbord gesplitst in een boven- en onderkant ("S2") met behulp van een metalen plaat, waarop pennen zijn gemonteerd, die de klemverbindingen tussen de onder- en bovenkant van het toetsenbord opzij duwen. De bovenkant komt nu los te liggen van de onderkant. Het fabriekslogo wordt met een persapparaatje uit de bovenkant verwijderd ("S3"). Stap "S4" is het verwijderen van het interieur uit de onderkant van het toetsenbord. Bij stap "S5" perst men de stickers en de anti-slip rubberjes uit de onderkant. Tot slot worden de onder- en bovenkant volgens stap "T1" en stap "T2" vermalen.

Het optimaliseren van het produkt wordt uitgevoerd aan de hand van de toegevoegde waarde van de demontagestappen. De toegevoegde waarde van een demontagestap wordt bepaald door de materiaalprijs van de samenstellingen en de onderdelen na de demontagestap, verminderd met de materiaalprijs van het produkt of de samenstelling en de kosten van de demontagestap. De toegevoegde waarde voor demontagestap "S3" is [20]:

$$TW_{S3} = P_{P3} * M_{P3} + P_{C5} * M_{C5} - P_{C2} * M_{C2} - T_{S3} * U_{S3}$$

$$TW_{S3} = -0,00030 * 10,30 + 0,00100 * 266,40 - (-0,00030 * 276,70) - 7 * 0,00556 = 0,307$$

Toelichting op de gebruikte symbolen bij de bepaling van de toegevoegde waarde:

- $TW_{..}$: De toegevoegde waarde van de stap (f);
 $P_{..}$: De materiaalprijs (f/gr);
 $M_{..}$: De massa van het produkt, de samenstelling of het onderdeel (gr). In de berekeningen wordt uitgegaan van één samenstelling of één onderdeel.
 $T_{..}$: De demontagetijd (s);
 $U_{..}$: Het uurtarief voor de demontageactiviteit (f/s).

De toegevoegde waarde voor alle stappen zijn:

$$\begin{array}{lll} TW_{S1} = -f 0,138 & TW_{S2} = -f 0,028 & TW_{S3} = f 0,307 \\ TW_{S4} = -f 0,141 & TW_{S5} = f 0,323 & TW_{T1} = f 0,225 \\ TW_{T2} = f 0,237 & & \end{array}$$

Met deze gegevens kan worden bepaald wat de optimale verwerkingsstructuur van het produkt is. Het optimaliseren geschiedt met behulp van lineair programmeren. De optimaliseringsregels staan hierna vermeld. Het maximaliseren van de totale toegevoegde waarde is het uitgangspunt voor het bepalen van de optimale verwerkingsstructuur.

$$\begin{aligned}
\text{Max } TW_{\text{totaal}} &= \text{Max}(TW_{S1}; 0); \\
\text{Max } TW_{S1} &= \text{Max}(TW_{S1} + \text{max } TW_{S2}; 0); \\
\text{Max } TW_{S2} &= \text{Max}(TW_{S2} + \text{max } TW_{S3} + \text{max } TW_{S4}; 0); \\
\text{Max } TW_{S3} &= \text{Max}(TW_{S3} + \text{max } TW_{T1}; 0); \\
\text{Max } TW_{S4} &= \text{Max}(TW_{S4} + \text{max } TW_{S5}; 0); \\
\text{Max } TW_{S5} &= \text{Max}(TW_{S5} + \text{max } TW_{T2}; 0); \\
\text{Max } TW_{T1} &= \text{Max}(TW_{T1}; 0); \\
\text{Max } TW_{T2} &= \text{Max}(TW_{T2}; 0);
\end{aligned}$$

Bij het van achteren naar voren uitrekenen van het algoritme wordt de optimale verwerkingsstructuur bepaald. De optimale verwerkingsstructuur is in dit geval het uitvoeren van alle stappen. Hoe dit antwoord is verkregen, staat hieronder weergegeven.

$$\begin{aligned}
\text{Max } TW_{T2} &= \text{Max}(TW_{T2}; 0) \text{ wordt } \text{max}(0,237; 0) = 0,237, \text{ dus stap T2 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{T1} &= \text{Max}(TW_{T1}; 0) \text{ wordt } \text{max}(0,225; 0) = 0,225, \text{ dus stap T1 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{S5} &= \text{Max}(TW_{S5} + \text{max } TW_{T2}; 0) \text{ wordt } \text{max}(0,323 + 0,237; 0) = 0,560, \\
&\text{dus stap S5 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{S4} &= \text{Max}(TW_{S4} + \text{max } TW_{S5}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,141 + 0,560; 0) = 0,419, \\
&\text{dus stap S4 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{S3} &= \text{Max}(TW_{S3} + \text{max } TW_{T1}; 0) \text{ wordt } \text{max}(0,307 + 0,225; 0) = 0,532, \\
&\text{dus stap S3 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{S2} &= \text{Max}(TW_{S2} + \text{max } TW_{S3} + \text{max } TW_{S4}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,028 + 0,532 + \\
&0,419; 0) = 0,923, \text{ dus stap S2 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{S1} &= \text{Max}(TW_{S1} + \text{max } TW_{S2}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,138 + 0,923; 0) = 0,785, \\
&\text{dus stap S1 uitvoeren;} \\
\text{Max } TW_{\text{totaal}} &= \text{Max}(TW_{S1}; 0) \text{ wordt } \text{max}(0,785; 0) = 0,785, \text{ dus de verwerking is op} \\
&\text{basis van economische gronden een zinvolle bezigheid;}
\end{aligned}$$

De uiteindelijke opbrengst van de verwerking van het produkt wordt bepaald door de ingangswaarde van het produkt vòòr de verwerking vermeerderd met de opbrengst van de materialen, die vrijkomen bij de verwerking van het produkt en verminderd met de kosten van die verwerking. In het geval van het IBM-toetsenbord verwerkt door de Mann-organisatie is de opbrengst gelijk aan f 0,51 per toetsenbord.

Bij het behandelde voorbeeld wordt géén rekening gehouden met de noodzaak van het terugwinnen van milieubelastende materialen. De kosten veroorzaakt door het vrijmaken van de milieubelastende materialen worden meegenomen in de hierna volgende berekeningen aan het voorbeeldprodukt. Hierbij zijn de milieu-eisen belangrijker dan de economische gronden voor de verwerking van het produkt. De navolgende wijzigingen in het voorbeeldprodukt zijn geen afspiegeling van de werkelijkheid, maar illustreren de noodzakelijke ingrepen in het model om de milieu-restrictie mee te nemen in de berekeningen. De eerste wijziging in het model bestaat uit het om milieu-technische overwegingen herwinnen van de samenstelling "C5". Daarnaast zijn de materiaalprijzen van

"C5", "C6", "P8" en "P10" in f 0,00030 per gram veranderd vanwege een daling van de olieprijsen.

De toegevoegde waarde voor alle stappen zijn:

$$\begin{array}{lll} TW_{S1} = - f 0,138 & TW_{S2} = - f 0,028 & TW_{S3} = - f 0,039 \\ TW_{S4} = - f 0,141 & TW_{S5} = - f 0,039 & TW_{T1} = - f 0,042 \\ TW_{T2} = - f 0,042 & & \end{array}$$

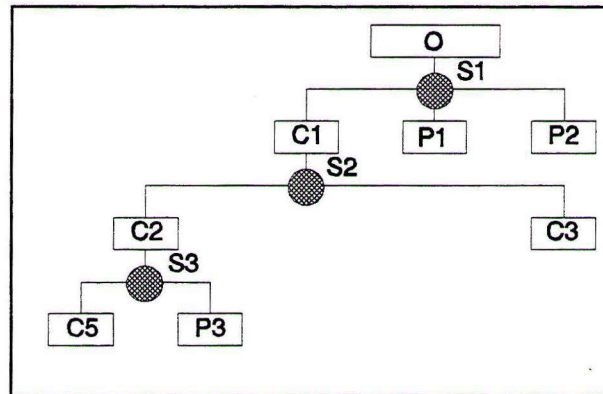
De gewijzigde optimaliseringsregels staan hierna vermeld.

$$\begin{array}{l} \text{Max } TW_{\text{totaal}} = \text{Max}(TW_{S1}); \\ \text{Max } TW_{S1} = \text{Max}(TW_{S1} + \text{max } TW_{S2}); \\ \text{Max } TW_{S2} = \text{Max}(TW_{S2} + \text{max } TW_{S3} + \text{max } TW_{S4}); \\ \text{Max } TW_{S3} = \text{Max}(TW_{S3} + \text{max } TW_{T1}); \\ \text{Max } TW_{S4} = \text{Max}(TW_{S4} + \text{max } TW_{S5}; 0); \\ \text{Max } TW_{S5} = \text{Max}(TW_{S5} + \text{max } TW_{T2}; 0); \\ \text{Max } TW_{T1} = \text{Max}(TW_{T1}; 0); \\ \text{Max } TW_{T2} = \text{Max}(TW_{T2}; 0); \end{array}$$

Bij het van achteren naar voren uitrekenen van het algoritme wordt de optimale verwerkingsstructuur bepaald. De berekening van het antwoord op de vraag, wat de optimale verwerkingsstructuur is, staat hieronder weergegeven.

$$\begin{array}{l} \text{Max } TW_{T2} = \text{Max}(TW_{T2}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,042; 0) = 0, \text{ dus stap T2 niet uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{T1} = \text{Max}(TW_{T1}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,042; 0) = 0, \text{ dus stap T1 niet uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{S5} = \text{Max}(TW_{S5} + \text{max } TW_{T2}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,039 + 0; 0) = 0, \text{ dus stap } \\ \quad S5 \text{ niet uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{S4} = \text{Max}(TW_{S4} + \text{max } TW_{S5}; 0) \text{ wordt } \text{max}(-0,141 + 0; 0) = 0, \text{ dus stap S4} \\ \quad \text{niet uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{S3} = \text{Max}(TW_{S3} + \text{max } TW_{T1}) \text{ wordt } \text{max}(-0,039 + 0) = -0,039, \text{ dus stap S3} \\ \quad \text{uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{S2} = \text{Max}(TW_{S2} + \text{max } TW_{S3} + \text{max } TW_{S4}) \text{ wordt } \text{max}(-0,028 - 0,039 + 0) \\ \quad = -0,067, \text{ dus stap S2 uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{S1} = \text{Max}(TW_{S1} + \text{max } TW_{S2}) \text{ wordt } \text{max}(-0,138 - 0,067) = -0,205, \text{ dus stap} \\ \quad S1 \text{ uitvoeren;} \\ \text{Max } TW_{\text{totaal}} = \text{Max}(TW_{S1}) \text{ wordt } \text{max}(-0,205) = -0,205. \text{ Conclusie: de verwerkings-} \\ \quad \text{structuur is op basis van economische gronden een niet zinvolle bezig-} \\ \quad \text{heid, maar wordt toch uitgevoerd omdat C5 herwonnen moet worden op} \\ \quad \text{last van milieu-overwegingen;} \end{array}$$

De gewijzigde demontagestructuur van het produkt komt er in dat geval als volgt uit te zien.



Figuur 17: De gewijzigde demontagestructuur van het IBM-toetsenbord.

Bij de demontage van het toetsenbord onder de gewijzigde omstandigheden is, het ontsluiten van het milieubelastende samenstelling "C5", de enige drijfveer voor het toch uitvoeren van de economisch niet zinvolle demontage. De kosten van verwerking zijn f 0,48 per toetsenbord.

Hoofdstuk 6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1 Verwerkingsbedrijven en verwerking van producten

De organisatiestructuur van de verwerkingsbedrijven komt overeen met de eigenschappen van een "Simple Structure", zoals deze beschreven zijn door H. Mintzberg [21]. Het coördinatiemechanisme bestaat uit direct leiderschap, dat wordt uitgevoerd door één enkele baas. Het zijn jonge bedrijven met een beperkt aantal medewerkers en eenvoudige technische middelen. Verder maken deze bedrijven deel uit van een dynamische omgeving.

Winstgevendheid en continuïteit zijn de belangrijkste doelen die de bedrijven nastreven. Een verwerkingsproces dat in beginsel niet winstgevend is wordt alleen dan toegepast wanneer de overheid of een overkoepelende instantie garant staat voor een verwerkingspremie per eenheid produkt.

Het op een rendabel wijze verwerken van bruingoed wordt in de eerste plaats tegengegaan door de verouderde onderdelen die vrijkomen bij een verwerkingsproces. Oorzaak hiervan is dat de onderdelen pas na een gemiddelde gebruiksduur van meer dan tien jaar beschikbaar komen voor verwerking. Dit maakt de onderdelen ongeschikt voor de verkoop op een tweede-hands markt.

In de tweede plaats is het aandeel materialen in de bruingoed-producten die wel geld opbrengen niet voorhanden. Tevens zijn de herwonnen hoeveelheden materialen in verhouding tot andere produkten relatief klein en zijn ze moeilijk van elkaar te scheiden. Dit betekent dat het verwerkingsproces niet bekostigd kan worden uit de opbrengsten van de materialen.

Producenten van bruingoed zullen alleen maar overgaan tot de verwerking van hun produkten, wanneer dit winstgevend is of wanneer door regelgeving de verplichting tot verwerking wordt opgelegd. Het formuleren van mondiale regelgeving voor verplichte verwerking heeft alleen effect, want wetgeving op landelijk niveau veroorzaakt een verplaatsing van het probleem naar landen waar deze niet van kracht is.

6.1.2 Database

De database is hiërarchisch van opbouw. Dit heeft ten aanzien van de gebruikersvriendelijkheid, de redundantie van gegevens en het onderhoud de navolgende kenmerken van de database tot gevolg:

- * Bij het invoeren van gegevens met betrekking tot een relatief eenvoudig produkt

moet een groot aantal computerschermen worden doorlopen.

- * Het is niet mogelijk om overeenkomstige gegevens van produkten, samenstellingen en onderdelen te selecteren, dit veroorzaakt redundantie in de opslag van gegevens in de database.
- * Als gevolg van de redundantie is de verzameling van gegevens bij een groot (meer dan 100) aantal ingevoerde produkten niet op een eenvoudige wijze "up-to-date" te houden.

De database is niet in staat om zelfstandig door middel van een iteratief proces de optimale verwerkingsstructuur van een produkt te bepalen aan de hand van de ingevoerde gegevens. De database is slechts in staat tot de opslag van gegevens en het presenteren van de ingevoerde gegevens op het computerscherm.

6.1.3 Economisch model

Het toepassen van een produktgeoriënteerde calculatiemethode in het geval van de verwerkingsbedrijven voor het bepalen van de uurtarieven is uitgebreid genoeg. Het verwerkingsproces heeft betrekking op één produkt en het aandeel "overhead" in de kosten is relatief klein in vergelijking tot een productiebedrijf.

Een tweede conclusie die getrokken kan worden ten aanzien van het economische model is dat de economische parameters verdeeld zijn over de database en het budgetmodel.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Verwerkingsbedrijven en verwerking van produkten

Gezien de technische ontwikkelingen, die de verwerkingsbedrijven doormaken is het voor de overheid en instanties, die de verwijderingsbijdrage beheren een overweging waard om meer differentiatie aan te brengen in de premie en zodoende afhankelijk te stellen van de inspanning die geleverd wordt door een verwerkingsbedrijf.

Het rekening houden met de afvalfase van het produkt tijdens het ontwerpen is een aspect waar producenten van bruingoed zich op moeten gaan richten. Om hiermee het aandeel van (niet slijtagegevoelige) onderdelen, die kunnen worden ingezet bij de productie van "nieuwe" produkten, te laten toenemen. Daarnaast moet men minder verschillende soorten materialen, minder schadelijke materialen, minder samengestelde materialen en meer eenvoudigere te verbreken verbindingen toe gaan passen in de produkten. Wanneer de producenten hiertoe in staat zijn is de verwerking van afgedankte produkten in de toekomst wellicht interessanter.

6.2.2 Database

Het terugbrengen van het aantal gegevensvelden en het toepassen van het relationele aspect van de gebruikte programmatuur is nodig gezien de karakteristieken van de gebruikersgroep van de database.

De hiërarchische opbouw van de database kan voorkomen worden door het toepassen van de volgende aanbevelingen:

- * Het verplicht doorlopen van een groot aantal schermen kan worden voorkomen door het scheppen van de mogelijkheid om de samenstellingen en de onderdelen, die voorkomen in het produkt, in één scherm in te voeren. Bij het produkt en een samenstelling moet dan aangegeven worden welke verwerkingsactiviteit volgt na het produkt en de samenstelling. En bij een samenstelling en een onderdeel moet aangegeven worden uit welke verwerkingsactiviteit een samenstelling en onderdeel voortkomt.
- * Het probleem van redundantie kan worden opgelost door het opnemen van tabellen met daarin produkten, samenstellingen en onderdelen die al zijn ingevoerd in de database. De mogelijkheid tot het selecteren van deze gegevens voorkomt redundantie en incompatibiliteit van gegevens, maar bespaart ook tijd die zou zijn gespendeerd aan het meerdere malen invoeren van dezelfde gegevens. Het voorgaande lost ook het onderhoudsprobleem op ten aanzien van de opslag van de gegevens. Dezelfde gegevens zijn niet meer op verschillende plaatsen opgeslagen en kunnen met het wijzigen van één gegevensveld worden aangepast.

6.2.3 Economisch model

In plaats van de produktgegevens onder te brengen in een database en de bepaling van de uurtarieven in een spreadsheetprogramma is het beter om het budgetmodel in de database onder te brengen. Het optimaliseren van de verwerkingsstructuur van een produkt, zoals beschreven in hoofdstuk 5, behoort tot de mogelijkheden van de gebruikte programmatuur.

NAWOORD

Het ontwikkelen van een economisch model voor de selectieve demontage van samengestelde produkten, zoals in het rapport beschreven is, is een zinvolle exercitie ten aanzien van het terugdringen van de huidige afvalproblematiek. Het model is ontworpen voor het bepalen van een economisch verantwoord traject waarlangs een discreet produkt dat zich aan het einde van z'n levenscyclus bevindt afgebroken kan worden. Binnen het Europese samenwerkingsverband van bedrijven heeft men zich gericht op de produkten behorende tot de categorie bruingoed, die gemiddeld meer dan tien jaar oud zijn wanneer ze beschikbaar komen voor het verwerkingsproces. Kenmerken van deze produkten zijn:

- De produktlevenscyclus van een model binnen een produktcategorie is korter dan één jaar;
- De diversiteit in de categorie bruingoed is groot (tientallen produktcategorieën);
- De toegepaste onderdelen in de produkten zijn functioneel gestandaardiseerd met het oog op het onderhouden van de produkten.

De genoemde kenmerken maken een terugwinning van onderdelen onmogelijk. Het gevolg hiervan is dat men zich bij de verwerking van de produkten voornamelijk richt op het concentreren van de milieuschadelijke stoffen en het terugwinnen van de materialen. Het geschikt maken van produkten of onderdelen door een verwerker voor een tweede levenscyclus is nog verre toekomst. Een eerste stap in die richting kan gemaakt worden door het standaardiseren van onderdelen en materialen gericht op hergebruik, dit wordt ook wel "Design for Recycling" genoemd.

"Design for Recycling" is binnen de milieuproblematiek van nu een industriële trendsetter. "Design for Recycling" sluit aan bij andere te onderscheiden industriële begrippen, zoals: kwaliteitsverbetering, miniaturisatie, integratie van onderdelen, mechanisatie, leverbetrouwbaarheid, nul-voorraad en flexibele produktiesystemen [22].

TNO heeft vuistregels geformuleerd, die in acht genomen dienen te worden bij het ontmantelings- en recyclingbewust ontwerpen [23]. Deze zijn:

1. Optimaliseer de hoeveelheid recyclebare materialen per produkt;
2. Minimaliseer het aantal verschillende materialen per produkt;
3. Vermijd verontreiniging van materialen;
4. Kies materiaalcombinaties die te scheiden zijn;
5. Wordt er toch een niet te scheiden materiaalcombinatie gebruikt, kies dan voor een combinatie die opgewerkt kan worden tot een nieuwe grondstof;
6. Codeer de gebruikte materialen;
7. Minimaliseer het aantal gebruikte onderdelen;
8. Gebruik gemakkelijk toegankelijke en gemakkelijk verbreekbare verbindings-technieken;
9. Kies voor modulaire opbouw van het produkt. Het vereenvoudigt het demontageproces;

10. Gebruik gestandaardiseerde onderdelen.

Het toepassen van de genoemde regels bij het ontwerpen van produkten behorende tot de categorie bruingoed kan leiden tot produkten, waarbij de verwerkingsbedrijven zich niet in de eerste plaats richten op het herwinnen van milieuschadelijke stoffen en materialen, maar op het hergebruik van onderdelen.

Wil het hergebruik van onderdelen en materialen rendabel zijn dan zullen de producenten van produkten zich moeten gaan richten op het toepassen van vernieuwde ontwerpregels. Het ontwikkelde economische model kan een hulpmiddel zijn bij de bepaling van de verwerkbaarheid van het produkt in de afvalfase in plaats van het achteraf bepalen van de kosten van verwerking.

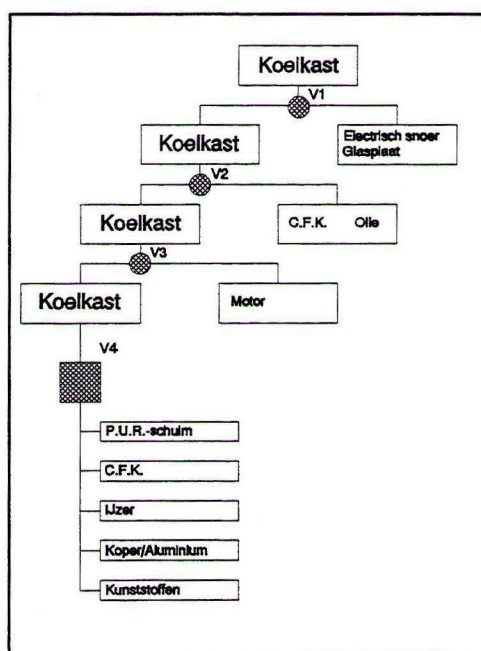
Literatuurlijst:

- [1] : TNO-Milieu en Energie (1991), *Maak kennis met TNO*, Delft.
- [2] : TNO (1993), *Jaarverslag 1993 van de Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek*, Delft.
- [3] : TNO-Milieu en Energie (1992), *Een kennismaking met TNO-Milieu en Energie*, Delft.
- [4] : TNO-Milieu en Energie (1990), *Van scheidingstechnieken naar geautomatiseerde sortering en ontmanteling*, documentatieblad 19, Apeldoorn.
- [5] : Alders, J.G.M. (1989), minister van VROM, *Nationaal Milieubeleidsplan-plus*, Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21 137, nr 20-21.
- [6] : (1988), *Notitie inzake preventie en hergebruik van afvalstoffen*, Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 20 877, nr. 2.
- [7] : (1995), *Praktijkboek Milieu, Wetgeving*, Kluwer.
- [8] : CBS (1993), *Environmental statistics of the Netherlands*.
- [9] : Blonk, H. et al (1993), *Analysedocument projekt wit- en bruingoed*, Bureau B & G, Rotterdam.
- [10] : Beck, M. (1994), *Synrec is de gangmaker van preventie en hergebruik, Eric van Vliet zoekt naar optimale verwerkingsstructuren*, Recycling, september/oktober 1994.
- [11] : Ministerie van EZ, Senter, RIVM en Novem (1993), *Kiezen voor recycling van wit- en bruingoed: nieuwe kansen*, een gezamenlijke uitgave.
- [12] : (1993), *The recycling of mass consumer product*, environment project EV5V-CT92-0241, 1/1/1993 - 31/12/1995, first year progress report.
- [13] : Veld, J. in 't (1990), *Analyse van organisatieproblemen, een toepassing van denken in systemen en processen*, vierde druk, derde oplage, Elsevier Amsterdam/Brussel.
- [14] : Ministerie van VROM, DGM, directie afvalstoffen (1992), *Planvorming landelijke verwijderingsstructuur koelkasten*, VROM, Leidschendam.

- [15] : Auto Recycling Nederland BV (1994), *Recycling van personenauto's in Nederland, Een uniek concept wordt realiteit*, Amsterdam.
- [16] : Vercoulen, P.A.J. (1989), *Operationele besturing van Asset Strip en Recovery*, Afstudeerproject bij de afdeling Asset Recovery Operations, Rank Xerox Manufacturing (Nederland) B.V.
- [17] : Kamin, J. (1993), *Basiscursus Paradox voor Windows*, Academic Service.
- [18] : Klein Nagelvoort, R.M. (1987), *Kosten en offers*, zevende druk, Educaboek B.V., Culemborg.
- [19] : Roberts, H.J.E. et al (1991), *Strategisch cost management voor vernieuwende bedrijven, Activity based costing*, Kluwer Bedrijfswetenschappen.
- [20] : Lambert, A.J.D. (1994), "Optimal disassembly of complex products", *Northeast Decision Sciences Institute, 1994 Proceedings*.
- [21] : Mintzberg, H. (1983), *Structure in Fives, Designing effective organizations*.
- [22] : Grootjans, D. (1993), *Organisatie en Besturing van Technische Innovatie (syllabus)*, Faculteit Bedrijfskunde, Vakgroep Organisatiekunde, herziene versie, juni 1993.
- [23] : TNO-Milieu en Energie (1993), *Actualiteiten van TNO Milieu- en Energietechnologie*, jaarbericht, Apeldoorn.

Bijlage 1: Verwerker van koelkasten (budgetmodel)**Uitgangspunten:**

Het bedrijf verwerkt alleen maar koelkasten. De koelkasten worden aangeleverd door de gemeenten. Het transport van de koelkasten wordt door de gemeenten of de koelkastenverwerker verzorgd. Voor het verwerken van een koelkast wordt door de gemeente aan het verwerkingsbedrijf een premie van f 36,-- betaald. Hieronder volgt een schematische weergave van het produkt en de verwerkingsactiviteiten.



Figuur 18: De demontagestructuur van een koelkast.

Toelichting op de gebruikte codering voor de activiteiten in figuur 18:

- V1: Het halen van de koelkast uit de container, het afknippen van het elektrische snoer en het verwijderen van de glasplaat. Vervolgens wordt de koelkast op de transportband gelegd;
- V2: Het aftappen van de cfk's. Deze activiteit bestaat uit het klemmen van de koelkast, het positioneren van de boorkop, het machinaal aftappen, het afkoppelen van de koelkast en het doorzetten van de koelkast naar de volgende bewerking;
- V3: Het afknippen van de motor en het draaien van de koelkast op een tafel voor de transportband naar de shredder;
- V4: Activiteit V4 bestaat uit een aantal opeenvolgende processen en wel:
- * het vershredderen van de koelkast. Het scheiden van het pur-schuim van de andere materialen door middel van een windzifter;

- * het ontgassen van het pur-schuim door de ontgasinstallatie;
- * het scheiden van de ferro-materialen van de non-ferro materialen door middel van een koprolmagneet;
- * het scheiden van de kunststoffractie en de koper/aluminium fractie door middel van een eddy-current installatie.

In tabel 7 staan de materialen en de onderdelen vermeld, die vrijkomen bij de verwerking van een koelkast. De cfk's, die afgetapt worden zijn niet opgenomen in de tabel. In de praktijk worden de cfk's om niet geleverd aan een chemisch bedrijf. De totale opbrengst aan materialen en onderdelen is f 3,10.

Materiaalnaam/onderdeelnaam	Massa (kg)	Verkoopprijs (f/kg)
Staal	11,9	0,135
Plaatstaal	14,4	0,135
Pur-schuim	3,5	- 0,10
Aluminium	0,3	1,30
Kunststof	3,2	- 0,10
Glas	0,7	- 0,10
Compressor	niet bekend	0,135
Bedrading	0,4	- 0,10
Overig	0,6	- 0,10

Tabel 7: Gemiddelde materiaalsamenstelling van een koelkast [14].

Aannames gebaseerd op het bedrijfsbezoek:

Algemeen:

Het bedrijf verwerkt 150 koelkasten per dag. Het bedrijf is 250 dagen per week geopend (gebaseerd op 50 weken). Een werknemer werkt 1600 uren per jaar (hierin is ziekte en verlof verdisconteerd), dit komt neer op 200 dagen per jaar.

Het bedrijf verwerkt aldus 37.500 koelkasten per jaar. De overige gegevens zijn in tabellen opgenomen. Achtereenvolgens worden de gegevens behandeld betreffende:

- Personeel;
- Machines;
- Terreinen en gebouw.

Personeel:

	Personeelskosten (f/jaar)	Aantal medewerkers
Demontagemedewerker	50.000	4
Demontage (inleen)	40.000	1
Heftruckchauffeur	60.000	1
Bedrijfsleider	70.000	1
Secretaresse	45.000	1
Baas	150.000	0,5

Tabel 8: Opbouw van de personeelskosten.

De demontagemedewerkers (tabel 8) resorteren onder de directe arbeidskosten en worden in het budgetmodel volledig toegewezen aan de activiteiten V1 tot en met V3. De overige personeelskosten worden verdeeld over de activiteiten. Bij dit voorbeeld is gekozen voor een gelijkmatige verdeling van de indirecte arbeidskosten over de activiteiten. Tabel 9 is een weergave van de toewijzingstabel.

	V1	V2	V3	V4
Heftruckchauffeur	¼	¼	¼	¼
Bedrijfsleider	¼	¼	¼	¼
Secretaresse	¼	¼	¼	¼
Baas	¼	¼	¼	¼

Tabel 9: Toewijzingstabel van de indirecte arbeidskosten over de activiteiten.

Machines:

	Investerings (in f)	Afschrijvingstermijn (in jaren)	Onderhoud (in procenten)
Transportband	60.000	5	10
Cfk-aftappers	200.000	10	10
Pneumatische schaar	10.000	3	10
Heftruck (elektrisch)	80.000	5	10
Heftruck (diesel)	40.000	3	10
Machinepark	2.000.000	10	10
Gereedschap	20.000	3	10
Bureau-accessoires	40.000	3	10

Tabel 10: Opbouw van de investeringen in de machines.

Toelichting: Met het machinepark worden de machines, die de activiteit V4 uitvoeren, bedoeld. Het gereedschap, dat als kostenpost is opgevoerd is het gereedschap, dat wordt gebruikt bij het onderhoud aan het machinepark.

Tabel 11 geeft een overzicht van de toewijzing van de indirecte investeringen in machines aan de activiteiten. Ook hier is gekozen voor een gelijkmatige verdeling over de activiteiten. De investeringen, die niet in deze tabel opgenomen zijn worden volledig toegewezen aan de activiteit.

	V1	V2	V3	V4
Transportband	¼	¼	¼	¼
Heftruck (elektrisch)	¼	¼	¼	¼
Heftruck (diesel)	¼	¼	¼	¼
Gereedschap	¼	¼	¼	¼
Bureau-accessoires	¼	¼	¼	¼

Tabel 11: Toewijzingstabel van de indirecte investeringen in machines.

Terreinen en gebouwen:

Het totale bedrijfsterrein heeft een oppervlakte van 2.200 m² en het gebouwencomplex heeft een oppervlakte van 875 m². Het bestaat uit een produktiehal van 800 m², een kantoor van 35 m² en een kantine van 40 m².

Uitgaande van een investering van ongeveer f 835.000,-- in het terrein en het gebouw komt dat neer op een prijs per vierkante meter voor het gebouw van f 450,-- en voor het terrein van f 200,-- (2.200 m² à f 200,-- + 875 m² à f 450,-- is f 833.750,--). Voor een activiteit die gebruik maakt van een hoeveelheid bedrijfsruimte moet de vierkante meterprijs voor gebouwen en terreinen in rekening worden gebracht. De afschrijvings-termijn voor het gebouwencomplex is gesteld op 10 jaar. Voor de terreinen zijn géén afschrijvingen meegenomen in de berekeningen.

Het deel van het gebouwencomplex en de terreinen, dat niet direct toegewezen is aan een activiteit wordt overeenkomstig tabel 12 verdeeld.

	V1	V2	V3	V4
Gebouwen	¼	¼	¼	¼
Terreinen	¼	¼	¼	¼

Tabel 12: Toewijzingstabel van de gebouwen en de terreinen.

De energiekosten zijn niet opgenomen in tabellen, maar kunnen in het budgetmodel direct aan een activiteit of via een sleutel worden toegewezen. Het winstpercentage is gelijk gesteld aan nul. Verder wordt er gerekend met een rentepercentage van 10% en een worden de investeringen in machines en gebouwen lineair afgeschreven.

Het budgetmodel

De kosten voor de activiteiten V1 tot en met V4 zijn als volgt opgebouwd:

Activiteit V1

Personeel: 2 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar	f 100.000,--
½ Demontage (inleen) à f 40.000,-- per jaar	f 20.000,--
Ruimte: 50 m ² à f 450,--	f 3.375,-- (*)
50 m ² à f 200,--	f 500,-- (*1)
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit V1	f 100.318,-- (*2)
Totaal	f 224.193,--

Activiteit V2

Personeel: 1 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar	f 50.000,--
¼ Demontage (inleen) à f 40.000,-- per jaar	f 10.000,--
Ruimte: 50 m ² à f 450,--	f 3.375,--
50 m ² à f 200,--	f 500,--
Machines: 2 cfk-aftappers à f 100.000,--	Afschrijvingen f 20.000,-- (*3)
	Onderhoud f 20.000,-- (*4)
	Rente f 10.000,-- (*5)
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit V2	f 100.318,--
Totaal	f 214.193,--

(*): Kosten bedrijfsruimte = (aantal vierkante meters * vierkante meterprijs)/afschrijvingstermijn gebouwen + ((rentepercentage/100)*(aantal vierkante meters * vierkante meterprijs))/2. In getallen: (50 * 450)/10 + ((10/100)*(50 * 450))/2 = f 3.375,-- per jaar.

(*1): Kosten terreinen = (aantal vierkante meters * vierkante meterprijs)/afschrijvingstermijn terreinen + ((rentepercentage/100)*(aantal vierkante meters * vierkante meterprijs))/2. In getallen: (50 * 200)/oneindig + ((10/100)*(50 * 200))/2 = f 500,-- per jaar.

(*2): De opbouw van de indirecte kosten wordt na de kostenopbouw van de activiteiten behandeld.

(*3): Afschrijvingskosten machines = (aantal machines * investeringsbedrag)/afschrijvingstermijn. In getallen: (2 * 100.000)/10 = f 20.000,-- per jaar.

(*4): Onderhoudskosten machines = (aantal machines * investeringsbedrag)*(onderhoudspercentage/100). In getallen: (2 * 100.000)*(10/100) = f 20.000,-- per jaar.

(*5): Rentekosten machines = (aantal machines * investeringsbedrag) * 0,5 * (rentepercentage/100). In getallen: (2 * 100.000) * 0,5 * (10/100) = f 10.000,-- per jaar.

Activiteit V3

Personeel: 1 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar		f	50.000,--
¼ Demontage (inleen) à f 40.000,-- per jaar		f	10.000,--
Ruimte: 50 m ² à f 450,--		f	3.375,--
50 m ² à f 200,--		f	500,--
Machines: 1 Pneumatische schaar à f 10.000,--	Afschrijvingen	f	3.333,--
	Onderhoud	f	1.000,--
	Rente	f	500,--
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit V3		f	100.318,--
	Totaal	f	169.026,--

Activiteit V4

Ruimte: 200 m ² à f 450,--		f	13.500,--
200 m ² à f 200,--		f	2.000,--
Machines: 1 Machinepark à f 2.000.000,--	Afschrijvingen	f	200.000,--
	Onderhoud	f	200.000,--
	Rente	f	100.000,--
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit V4		f	100.318,--
	Totaal	f	615.818,--

Indirecte kosten

Personeel: 1 Heftruckchauffeur	à f 60.000,-- per jaar	f 60.000,--
1 Bedrijfsleider	à f 70.000,-- per jaar	f 70.000,--
1 Secretaresse	à f 45.000,-- per jaar	f 45.000,--
½ Baas	à f 150.000,-- per jaar	f 75.000,--

Machines:

	Afschrijvingen (f/jaar)	Onderhoud (f/jaar)	Rente (f/jaar)
Transportband	12.000,--	6.000,--	3.000,--
Heftruck (elektrisch)	16.000,--	8.000,--	4.000,--
Heftruck (diesel)	13.333,--	4.000,--	2.000,--
Gereedschap	6.667,--	2.000,--	1.000,--
Bureau-accessoires	13.333,--	4.000,--	2.000,--
Totaal	61.333,--	24.000,--	12.000,--

Tabel 13: De indirecte kosten van de machines.

Ruimte: 525 m ² à f 450,--	f 35.438,--
1.850 m ² à f 200,--	f 18.500,--

De totale indirecte kosten zijn f 401.271,-- (*). Deze kosten worden gelijkmatig verdeeld over de activiteiten V1 tot en met V4. In het budgetmodel kan iedere wenselijke verdeling van de kosten worden aangegeven.

(*): Totale indirecte kosten = indirecte kosten personeel + indirecte kosten machines + indirecte kosten ruimte. In getallen: f 60.000,-- + f 70.000,-- + f 45.000,-- + f 75.000,-- + f 61.333,-- + f 24.000,-- + f 12.000,-- + f 35.438,-- + f 18.500,-- = f 401.271,--.

Bepaling van de uurtarieven

Activiteit V1 wordt uitgevoerd door 2½ medewerker, die 1.600 uur op jaarbasis werken. Dat betekent dat aan activiteit V1 4.000 uren ($2\frac{1}{2} * 1.600 = 4.000$) op jaarbasis wordt besteed. Activiteit V4 wordt bepaald door de totale bedrijfstijd, die gelijk is aan 2.000 uur per jaar.

Activiteiten	Totale kosten (perjaar)	Aantal uren (per jaar)	Uurtarief (per uur)
V1	f 224.193,--	4.000	f 56,--
V2	f 214.193,--	2.000	f 107,--
V3	f 169.026,--	2.000	f 85,--
V4	f 615.818,--	2.000	f 308,--

Tabel 14: Uurtarieven per activiteit.

Toelichting: De uurtarieven zijn in de tabel afgerond op gehele getallen.

Eindresultaat van de verwerking van een koelkast

Met een ingangswaarde van f 36,-- en een opbrengst uit de materialen van f 3,10 geeft dat na aftrek van de kosten (zie tabel 15) van de verwerking een resultaat van f 6,46 per koelkast ($f 36,-- + f 3,10 - f 32,64 = f 6,46$) bij een 100% bezettingsgraad en een totaal van 37.500 koelkasten op jaarbasis. Hierbij is geen rekening gehouden met de energiekosten van het bedrijfsproces, de kosten van het gebruik van de containers, de verzekeringskosten van het bedrijf en de winstmarge van het bedrijf.

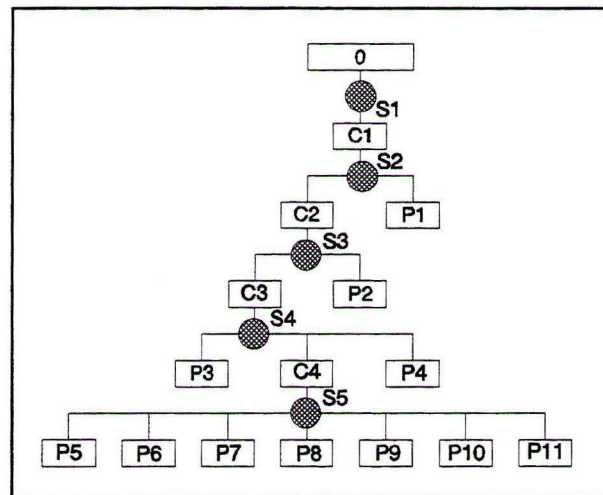
Activiteiten	Tijd (in minuten)	Kosten (f/koelkast)
V1	6,4	5,97
V2	3,2	5,71
V3	3,2	4,53
V4	3,2	16,43
Totaal	16,0	32,64

Tabel 15: Kosten van de verwerkingsactiviteiten.

Bijlage 2: Verwerker van toetsenborden (budgetmodel)

Uitgangspunten:

Het bedrijf verwerkt toetsenborden met behulp van een robot. De verwerkingsstructuur van het toetsenbord is weergegeven in figuur 19. In tabel 16 wordt een toelichting gegeven op de gebruikte codering voor het produkt, de samenstellingen en de onderdelen in figuur 19.



Figuur 19: Verwerkingsstructuur van een toetsenbord.

Niveau	Onderdeelcode/ Samenstellingscode	Onderdeelnaam/ Samenstellingsnaam	Massa (gr)	Materiaalsoort	Materiaalprijs (f/gr)
0	0	Toetsenbord	973,49	Afval	- 0,00065
1	C1	Toetsenbord	973,49	Afval	- 0,00065
2	P1	Toetsen	174,30	PBT	0,00130
	C2	Toetsenbord	799,19	Afval	- 0,00065
3	P2	Schroeven	10,00	IJzer	- 0,00065
	C3	Toetsenbord	789,19	Afval	- 0,00065
4	P3	Bovenkant	276,70	PVC	0,00080
	P4	Schroeven	30,00	IJzer	- 0,00065
	C4	Onderkant	486,69	Afval	- 0,00065
5	P5	Schild	26,34	Afval	- 0,00065
	P6	Connectoren	20,77	PS	0,00130
	P7	Rubberen doek	21,55	Rubber	- 0,00065
	P8	Logische kaart	38,28	Afval	- 0,00065
	P9	Schuimstukjes	0,65	PVC	0,00080
	P10	Onderkant	329,10	PS	0,00130
	P11	Kabel	50,00	PVC	0,00080

Tabel 16: Produktgegevens van een toetsenbord.

Toelichting op de coderingen voor de activiteiten in figuur 19:

- S1: Het opspannen van het toetsenbord op een houder;
- S2: Het verwijderen van de toetsen en de spatiebalk;
- S3: Het verbreken van de veerverbindingen tussen de onder- en de bovenkant van het toetsenbord;
- S4: Het uitdraaien van de schroeven en het oppakken van de bovenkant van het toetsenbord;
- S5: Het verwijderen van het interieur uit de onderkant van het toetsenbord.

Aannames gebaseerd op een document van Seibersdorf:

Het bedrijf verwerkt 13.150 toetsenborden per jaar. Het bedrijf is 1630 uur per jaar geopend. Een werknemer werkt 1630 uren per jaar (hierin is ziekte en verlof verdisconteerd).

De overige gegevens zijn in tabellen opgenomen. Achtereenvolgens worden de gegevens behandeld ten aanzien van:

- Personeel;
- Machines;
- Terreinen en gebouw.

Personeel:

	Personeelskosten (f/jaar)	Aantal medewerkers
Demontagemedewerker	50.000	1

Tabel 17: Opbouw van de personeelskosten.

De demontagemedewerker is de enige werknemer en de kosten worden direct toegewezen aan de activiteiten S1 tot en met S5.

Machines:

	Investerings (in f)	Afschrijvingstermijn (in jaren)
Gereedschap (S2)	3.250	7
Gereedschap (S3)	1.625	7
Gereedschap (S4)	2.700	7
Gereedschap (S5)	2.500	7
Lopende band	48.500	7
Robot	64.500	7
Besturing robot	16.000	7

Tabel 18: Opbouw van de investeringen in de machines.

De indirecte investeringen in machines worden in tabel 19 verdeeld over de activiteiten S1 tot en met S5. Er is gekozen voor een gelijkmatige verdeling van de kosten over de activiteiten. De investeringen, die niet in deze tabel terugkomen worden direct toegewezen aan de betreffende activiteit.

	S1	S2	S3	S4	S5
Lopende band	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Robot	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Besturing	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabel 19: Toewijzingstabel van de indirecte machinekosten.

De energiekosten zijn f 1.000,-- per jaar en de onderhoudskosten zijn f 250,-- per jaar. De energiekosten en de onderhoudskosten worden gelijkmatig verdeeld over de activiteiten. Het winstpercentage is gelijk gesteld aan nul. Verder wordt er gerekend met een rentepercentage van 10% en worden de machines lineair afgeschreven. Er zijn géén kosten meegenomen voor een gebouwencomplex en bedrijfsterreinen, omdat deze gegevens niet bekend zijn. Dit geldt ook voor de verzekeringskosten.

Het budgetmodel:

De kosten voor de activiteiten S1 tot en met S5 zijn als volgt opgebouwd:

Activiteit S1

Personeel: 0,2 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar	f	10.000,--
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit S1	f	5.226,-- (*)
Totaal	f	15.226,--

Activiteit S2

Personeel: 0,2 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar	f	10.000,--
Machines: 1 stuk gereedschap à f 3.250,--	Afschrijvingen	f 464,-- (*1)
	Rente	f 163,-- (*2)
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit S2	f	5.226,--
Totaal	f	15.853,--

Activiteit S3

Personeel: 0,2 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar	f	10.000,--
Machines: 1 stuk gereedschap à f 1.625,--	Afschrijvingen	f 232,--
	Rente	f 81,--
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit S3	f	5.226,--
Totaal	f	15.539,--

(*): De opbouw van de indirecte kosten wordt na de kostenopbouw van de activiteiten behandeld.

(*1): Afschrijvingskosten gereedschap = (aantal stuks gereedschap * investeringsbedrag)/afschrijvingstermijn.
In getallen: $(1 * 3.250)/7 = f 464,--$ per jaar.

(*2): Rentekosten gereedschap = (aantal machines * investeringsbedrag) * 0,5 * (rentepercentage/100). In getallen: $(1 * 3.250) * 0,5 * (10/100) = f 163,--$ per jaar.

Activiteit S4

Personeel: 0,2 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar		f	10.000,--
Machines: 1 stuk handgereedschap à f 2.700,--	Afschrijvingen	f	386,--
	Rente	f	135,--
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit S4		f	5.226,--
	Totaal	f	15.747,--

Activiteit S5

Personeel: 0,2 Demontagemedewerkers à f 50.000,-- per jaar		f	10.000,--
Machines: 1 stuk gereedschap à f 2.500,--	Afschrijvingen	f	357,--
	Rente	f	125,--
Indirecte kosten toegewezen aan activiteit S5		f	5.226,--
	Totaal	f	15.708,--

Indirecte kosten

Machines:

	Afschrijvingen (per jaar)	Rente (per jaar)
Lopende band	f 6.929,--	f 2.425,--
Robot	f 9.214,--	f 3.225,--
Besturing	f 2.286,--	f 800,--
Totaal	f 18.429,--	f 6.450,--

Tabel 20: De indirecte kosten van de machines.

De totale indirecte kosten zijn f 26.129,-- (*). Deze kosten worden overeenkomstig de toewijzingstabellen verdeeld over de activiteiten S1 tot en met S5. Het is in het budgetmodel mogelijk om iedere wenselijke verdeling van de kosten aan te geven.

(*): De totale indirecte kosten = indirecte kosten machines + energiekosten + onderhoudskosten. In getallen:
f 18.429,-- + f 6.450,-- + f 1.000,-- + f 500 = f 26.129,--.

Bepaling van de uurtarieven

Het aantal uren te besteden aan de activiteiten wordt bepaald door het personeel. Aangezien de werknemer 1630 uur op jaarbasis werkt kan deze 326 uur per activiteit besteden.

Activiteiten	Totale kosten (per jaar)	Aantal uren (per jaar)	Uurtarief
S1	f 15.226,--	326	f 47,--
S2	f 15.853,--	326	f 49,--
S3	f 15.539,--	326	f 48,--
S4	f 15.747,--	326	f 48,--
S5	f 15.708,--	326	f 48,--

Tabel 21: Bepaling van de uurtarieven per activiteit.

Eindresultaat van de verwerking van een toetsenbord.

De ingangsprijs van het produkt voor de verwerking is gelijk aan f 0,00. De opbrengsten uit de materialen zijn gelijk aan f 0,86 per toetsenbord. Dit geeft een eindresultaat van de verwerking van een toetsenbord na aftrek van de kosten (zie tabel 22), dat gelijk is aan f 5,11 (negatief). Dit geldt bij een 100% bezettingsgraad en een totaal aantal te verwerken toetsenborden van 13.150 per jaar.

Activiteiten	Tijd (seconden)	Kosten (f/toetsenbord)
S1	6	0,08
S2	109	1,48
S3	60	0,80
S4	163	2,17
S5	108	1,44
Totaal	446	5,97

Tabel 22: Kosten van de verwerkingsactiviteiten.