



STUDIECENTRUM VOOR ECONOMISCH EN SOCIAAL ONDERZOEK

DE KEUZE TUSSEN HERSTELLING OF VERVANGING  
VAN EEN PERSONENAUTO

G. BLAUWENS

rapport 7770

juli 1977

Universitaire Faculteiten St.-Ignatius  
Prinsstraat 13 - 2000 Antwerpen  
D/1977/1169/08

## DE KEUZE TUSSEN HERSTELLING OF VERVANGING VAN EEN PERSONENAUTO

G. BLAUWENS

Deze bijdrage is gewijd aan een onderwerp dat in conversaties tussen autobezitters nogal populair is: Wat moet men doen met een auto die op een zekere leeftijd defect raakt en waarvan de herstelling een gegeven bedrag zou kosten? Moet men de herstelling nog laten uitvoeren of is het beter die wagen van de hand te doen?

Sommige autobezitters volgen hierin een vaste regel waaraan zij niet twijfelen. Anderen vinden het een moeilijke beslissing. Allen kunnen zij anekdoten aanhalen, hetzij van auto's die na een complete revisie nog 100 km aflegden en dan middendoor braken, hetzij van auto's die na een laatste herstelling nog vijf jaar perfecte dienst deden, zonder ook maar de geringste reparatie, zelfs zonder bijstelling van de contactpunten.

Zo succesvol als dit onderwerp is in dagelijkse gesprekken, zo gering is de aandacht die de economen eraan besteed hebben: Wel bestaat er een stevige literatuur over vervangingsinvesteringen of herstellingen van duurzame goederen in het algemeen, maar er werden bijzonder weinig pogingen ondernomen om deze algemeenheden aan te passen aan het concrete geval van personenauto's.

Het wetenschappelijk onderzoek laat hier een leemte open die toch wel indrukwekkend is: In een land als België rijden bijna 3 miljoen personenauto's. Bijna 3 miljoen autobezitters worden regelmatig met een herstellings- of vervangingsbeslissing geconfronteerd. Indien men, door deze beslissingen rationeler te maken, de kosten van een auto met slechts 1.000 F per jaar zou kunnen verminderen, dan nog zou men elk jaar een besparing realiseren van 3 miljard. Zulke besparing is zeker wat speurwerk waard.

Onze poging om hiertoe een bescheiden bijdrage te leveren, beschrijven wij in 4 paragrafen: Paragraaf 1 geeft een nadere omschrijving van het herstellings- of vervangingsprobleem. In paragraaf 2 worden de kostengegevens verzameld die nodig zijn om het probleem op te lossen. Paragraaf 3 bevat een niet-technische beschrijving van de oplossingsmethode. De lezer die alleen in het resultaat geïnteresseerd is, kan paragraaf 3 overslaan en meteen verdergaan met paragraaf 4, die de uitkomsten bevat. Voor de lezer die allereerst in de methode geïnteresseerd is, werd nog een bijlage opgenomen met een verdere mathematische uitwerking.

## §1. HET HERSTELLINGS- OF VERVANGINGSPROBLEEM

De keuze tussen herstelling of vervanging van een personenauto kan op verschillende manieren benaderd worden:

### 1.1. Het optimaal vervangingsmoment

Een eerste benadering bestaat hierin, dat men een leeftijd vaststelt, waarop men het voertuig van de hand zal doen. Vóór dit vervangingsmoment laat men alle defecten herstellen die optreden. Zodra echter het vervangingsmoment bereikt is, verkoopt men de rijklare wagen tegen de geldende herverkoopwaarde en men schaft zich een nieuwe auto aan.

Deze benadering sluit direct aan bij de traditionele analyse van vervangingsinvesteringen (1). Zij is in feite weinig genuanceerd. Tot de dag vóór het geplande vervangingsmoment doet men alle herstellingen, hoe duur die ook zijn. Vanaf het vervangingsmoment daarentegen doet men niet de geringste herstelling meer. Integendeel, het voertuig gaat onmiddellijk de deur uit.

---

(1) Zie b.v. G. TERBORGH, Dynamic Equipment Policy, Washington, 1949; A. KAUFMANN & R. FAURE, Operationele Research (Marka nr.17) Utrecht/Antwerpen, 1965, blz.137-152; B. SHORE, Operations Management, Tokyo, 1973, blz.58-88.

Het "optimale" in deze benadering bestaat alleen hierin, dat men onder de gegeven wit-zwartpolitiek het minst slechts vervangingsmoment kiest.

### 1.2. De optimale herstellingsgrens

Een tweede benadering is gekend als die van de "optimale herstellingsgrens" of "optimal repair limit" (1). In deze benadering bepaalt men de herstellingsgrens, d.i. het maximale bedrag dat men aan een herstelling wil besteden, afhankelijk van de leeftijd van het voertuig. Men zegt dus niet op voorhand <sup>op</sup> welke datum men zijn auto zal afdanken, maar men bepaalt dat in het eerste gebruiksjaar bijvoorbeeld nog maximaal 100.000 F besteed wordt aan een reparatie, in het tweede jaar nog maximaal 50.000 F, in het derde jaar 10.000 F, in het vierde 2.000 F, enz.

Op voorhand is dus niet opgelegd dat men de auto gedurende een gegeven tijd zal gebruiken. Integendeel, men wacht af welke herstellingen optreden. Blijft zulke herstelling beneden de herstellingsgrens, dan laat men die herstelling uitvoeren. Bij het eerste defect echter waarvan de herstelling duurder zou zijn dan de herstellingsgrens toelaat, verkoopt men de defecte wagen. Men recupereert de schrootwaarde en men koopt een nieuwe auto.

Deze benadering is genuanceerder dan die van het optimaal vervangingsmoment. Zij sluit echter de mogelijkheid uit een rijklare wagen te verkopen en de normale herverkoopwaarde te recupereren. Men rijdt steeds tot een belangrijk defect optreedt en men wint slechts de schrootwaarde terug.

---

(1) Zie b.v. N.A.J. HASTINGS, Dynamic Programming with management applications, London, 1973, blz.105; B.H. MAHON & R.J.M. BAILEY, "A proposed improved replacement policy for army vehicles", Operational Research Quarterly, Vol.26, 1975, nr.3, blz.477-494; T.A. LAMBE, "The decision to repair or scrap a machine", Operational Research Quarterly, Vol.25, 1974, nr.1, blz.99-110; N.A.J. HASTINGS, "The repair limit replacement method", Operational Research Quarterly, Vol.20, 1969, nr.3, blz.337-349; R.W. DRINKWATER & N.A.J. HASTINGS, "An economic replacement model", Operational Research Quarterly, Vol.18, 1967, blz.121-138.

Het "optimale" van de methode bestaat hierin, dat men onder de beperking nooit een rijklare wagen te verkopen de herstellingsgrens voor elke leeftijd zo goed mogelijk kiest.

### 1.3. Optimale herstellingsgrens met een uiterlijk vervangingsmoment

In het concrete geval van personenwagens opteren wij voor een derde benadering, die herstellingsgrenzen combineert met de mogelijkheid een rijklare wagen te verkopen.

Wij bepalen in deze benadering nog steeds herstellingsgrenzen op verschillende leeftijden van het voertuig. Bovendien echter bepalen wij een uiterlijk vervangingsmoment. Indien het voertuig dit vervangingsmoment bereikt (d.w.z. dat defecten boven de herstellingsgrens uitgebleven zijn), wordt het onmiddellijk van de hand gedaan.

In onze benadering zijn er dus twee manieren waarop men komt tot vervanging van de oude wagen door een nieuwe: hetzij naar aanleiding van een te zwaar defect, hetzij wegens het bereiken van de vervangingsleeftijd. In het eerste geval recupereert men de schrootwaarde, in het tweede geval de herverkoopwaarde van een rijklare auto op die leeftijd.

Het is duidelijk dat deze derde benadering algemener is dan de twee vorige. Zij sluit ook veel dichter aan bij de praktijk: Niet alleen worden auto's afgedankt wegens zware defecten. Er worden in de praktijk ook rijklare auto's verkocht, op een tweedehandsmarkt nog wel die beter functioneert dan voor enig ander goed het geval is.

Onze benadering heeft ondanks haar grotere algemeenheid nog één belangrijke beperking: Wij stellen dat het afgedankte voertuig nog steeds vervangen wordt door een gelijkaardig voertuig van leeftijd nul. Wij onderzoeken dus niet de mogelijkheid om op de occasiemarkt een auto te kopen die reeds één of meerdere jaren

gebruikt werd. Wij onderzoeken ook niet de vervanging door een voertuig van een heel andere soort, waarbij het motief van de beslissing zou gelegen zijn precies in deze verandering van voertuig. Onze berekeningen gelden slechts voor de autobezitter die tevreden is over het soort auto waarmee hij rijdt en die na afdanking een gelijkaardige auto nieuw zal kopen bij de dealer. Deze autobezitter wil slechts weten, hoeveel hij nog aan een reparatie van de oude wagen mag besteden en eventueel welk het uiterlijk moment is waarop hij moet vervangen, ten einde in totaal zo weinig mogelijk kosten te maken.

Het begrip "kosten" bevat in onze opvatting ook niet-geldelijke elementen. Zo wordt onder andere een kostenbedrag opgenomen voor het gemis van de wagen en het subjectieve ongemak dat gepaard gaat men een defect.

Tevens wordt een intrest aangerekend om met het tijds patroon van de kosten rekening te houden.

Natuurlijk kan niemand met zekerheid de defecten voorspellen die nog zullen optreden wanneer men beslist een oude wagen in gebruik te houden. Evenmin kan men met zekerheid de reparaties voorspellen die een nieuwe wagen zal moeten ondergaan. Zo kan de beslissing een twee jaar oude auto af te danken wegens een klein defect aan de ruitenwissers, achteraf door een speling van het toeval goed uitvallen. Het is immers mogelijk dat die wagen twee dagen na overname door de nieuwe eigenaar ingevolge een kortsluiting totaal uitbrandt.

Niemand zal echter beweren dat deze gelukkige beslissing ook een verstandige beslissing was en dat men voortaan elke wagen moet afdanken die een defect krijgt aan de ruitenwissers. De verstandige beslisser speculeert niet op een onwaarschijnlijk toeval. Hij richt zich veeleer naar de verwachte kosten, d.w.z. de kosten die gemiddeld voor dergelijke wagen zouden optreden, indien men zeer vaak het experiment zou doen van met die wagen te rijden. Dat

is ook wat onze methode beoogt: Wij bepalen de herstellingsgrenzen en het uiterlijk vervangingsmoment zodanig dat de verwachte kosten minimaal zijn. Door het toeval zou een andere vervangingspolitiek beter kunnen uitvallen, maar het is onverstandig te speculeren op ongunstige kansen.

## §2. KOSTENGEGEVENS

In onze berekeningen mogen wij al die kosten van het autogebruik verwaarlozen die onafhankelijk zijn van de leeftijd van het voertuig en dus toch niet beïnvloed worden door onze herstellings- of vervangingsbeslissingen.

Tot zulke niet beïnvloedbare kosten rekenen wij onder andere de huur van een garage, de verzekering burgerlijke aansprakelijkheid, het verbruik van brandstof, olie en banden. Dergelijke kosten treden niet minder of niet meer op voor een nieuwe wagen dan voor een oude. Zij staan los van onze herstellings- of vervangingspolitiek. Zij beïnvloeden deze beslissingen niet.

Enige betwisting is wellicht mogelijk met betrekking tot brandstof- en olieconsumptie. Men kan misschien stellen dat dit verbruik toeneemt naarmate de wagen ouder wordt. In dat geval moet er wel degelijk rekening mee gehouden worden bij de herstellings- of vervangingsbeslissing. Stijgend verbruik zal duidelijk leiden tot vroegere vervanging en tot lagere herstellingsgrenzen. Wij zullen echter de herstellingskosten bepalen voor auto's die steeds in onberispelijke staat gehouden werden. Met dit zorgvuldig onderhoud blijft de toename van olie- en benzineconsumptie beperkt tot een te verwaarlozen bedrag.

Het vervangings- of herstellingsbeleid oefent slechts een duidelijke invloed uit op volgende kostencategorieën:

- 1) aankoop van nieuwe auto's;
- 2) herstellingsuitgaven;
- 3) verkeerstaxe (op zichzelf niet belangrijk, maar opgenomen om een reden die wij nog zullen uitleggen);
- 4) subjectieve kosten;
- 5) intrestlasten.

Wij hebben deze kosten onderzocht voor de gemiddelde wagen van de "middenklasse", (d.w.z. dat wij het gemiddelde bepaald hebben uit een steekproef bestaande uit volgende auto's: Peugeot 404, Austin Maxi, Toyota Celica, Fiat 132, Ford Granada, Opel Rekord, Volvo 244, Mercedes 200, Peugeot 504, Renault 16, Ford Taunus, Citroën DS). Alle prijzen hebben betrekking op 1976 of werden door indexering aan het prijsniveau van 1976 aangepast.

### 2.1. Aankoop van nieuwe auto's

De gemiddelde wagen van de steekproef kost, B.T.W. inbegrepen, 226.000 F. Men moet echter niet bij elke vervanging deze volledige som uitgeven, gezien op het ogenblik van de vervanging de herverkoopwaarde gerecupereerd wordt van de oude auto. Deze herverkoopwaarde, in rijklare toestand en in goede staat van onderhoud, hangt af van de leeftijd, zoals aangegeven in tabel 1.

Tabel 1. Herverkoopwaarden in rijklare toestand  
(in % van de nieuwwaarde, B.T.W. inbegrepen - steekproefgemiddelden)

Leeftijd van het voertuig in jaren	Herverkoopwaarde (%)
1	50
2	40
3	31
4	23
5	17
6	11
7	5

Bron: Steekproef voor de beschouwde merken uit: Le moniteur de l'automobile en Eurotax



Zodra het voertuig 8 jaar oud is of wanneer het afgedankt wordt met een defect boven de herstellingsgrens, recupereert men grosso modo alleen nog een schrootwaarde van 1 % van de aankoopprijs.

Het jaargemiddelde van de uitgaven voor aankoop van nieuwe auto's zal duidelijk afhangen van onze vervangingspolitiek. Stellen wij hoge herstellingsgrenzen en danken wij na 7 jaar een rijklare auto af, dan bedraagt het jaargemiddelde van deze uitgaven slechts

$$\frac{1}{7} \left( \frac{100 - 5}{100} \right) 226.000 = 30.671 \text{ F.}$$

Vervangen wij daarentegen om het jaar, dan moeten wij jaarlijks een som uitgeven van

$$\left( \frac{100 - 50}{100} \right) 226.000 = 113.000 \text{ F.}$$

## 2.2. Herstellingsuitgaven

Om de totale herstellingsuitgaven te bepalen, kan men twee aspecten onderscheiden: enerzijds het bedrag van één herstelling, anderzijds het aantal herstellingen.

Wij nemen aan dat het gemiddelde bedrag van één herstelling niet toeneemt wanneer een wagen ouder wordt, maar dat wel het jaarlijks aantal herstellingen stijgt. Deze hypothese stemt zeer goed overeen met de ervaring uit de steekproef. Zij is ook plausibel. De onderdelen die eerst moeten vervangen worden, zijn immers niet bepaald de goedkoopste, noch de duurste. Alleen gaan in een nieuwe wagen minder vaak onderdelen stuk, omdat men vertrekt uit een toestand waarin alle onderdelen nog nieuw zijn (1).

Uit de steekproef (2) blijkt dat de gemiddelde herstelling tegen prijzen van 1976 een uitgave meebrengt van 1,2336 % van de aanschaffingsprijs van het voertuig, B.T.W. altijd inbegrepen. Dit

(1) Dit is ook de benadering van T.A. LAMBE, op.cit. en DRINKWATER & HASTINGS, op.cit.

(2) Aangevuld met de herstellingskosten na verkeersongevallen, zoals blijkt uit de statistieken over het aantal ongevallen (N.I.S.) en uit de kostenramingen in KIRSCHEN, BLAUWENS, EECKHOUDT e.a., Een vijf jarenplan voor het Belgisch wegennet, Brussel, 1975, blz.42-43.

gemiddelde, dat ongeveer constant blijft over de hele leeftijd van het voertuig, bevat naast de herstelling van defecten ook de preventieve vervangingen en bijstellingen, alsmede de herstellingen na een ongeval. Het bevat echter niet de smeringen, of olieverseringen, noch het bandenverbruik, die wij zoals gezegd buiten beschouwing laten.

Rond het gemiddelde zijn de afzonderlijke bedragen gespreid met tamelijk grote afwijkingen. Er komen heel vaak kleinere bedragen voor en minder vaak grotere bedragen, maar deze laatste trekken door hun omvang het gemiddelde op. Het spreidingsbeeld kan goed beschreven worden met de bekende exponentiële verdeling (1).

Blijft de gemiddelde herstellingsuitgave ongeveer constant bij toenemende gebruiksduur, het aantal herstellingen doet dit zeker niet. Dat blijkt uit tabel 2, die het gemiddeld aantal herstellingen geeft per 10.000 km.

Tabel 2. Aantal herstellingen

Leeftijd van het voertuig in volle jaren	Aantal herstellingen per 10.000 km tijdens het beschouwde jaar
0	2,7 (*)
1	4,6
2	5,8
3	7,1
4	8,8
5	10,8
6	13,3
7	16,2
8	19,7
9	23,7
10	28,4
11	34,5

(\*) Niet inbegrepen de herstellingen die onder garantie uitgevoerd werden.

(1) Ook LAMBE, op.cit., blz.102 en DRINKWATER & HASTINGS, op.cit., blz.130-131 vonden dit. Volgens de data van MAHON & BAILEY echter, op.cit., blz.480, was een andere distributie te verkiezen.

De cijfers in deze tabel steunen voor de eerste acht merken in onze steekproef rechtstreeks op de facturen. Voor de laatste vier merken wordt gesteund op de kostenevolutie die tot uiting kwam in een onderzoek van L'auto-journal (1).

Onze observaties reiken nooit verder dan een leeftijd van 8 jaar. Het aantal herstellingen na deze leeftijd hebben wij dan ook moeten bepalen door extrapolatie van de trend. Eventuele fouten in deze extrapolatie kunnen weinig belang hebben in de berekening van de herstellingsgrenzen.

Uit tabel 2 blijkt hoe sterk de onderhoudskosten met de leeftijd toenemen. De uiterst snelle progressie tijdens de laatste jaren kan zelfs ongeloofwaardig overkomen. Autobezitters hebben echter de merkwaardige neiging het aantal herstellingen aan hun wagen te onderschatten. Wanneer zij werkelijk rekeningen gaan optellen, komen zij tot onthutsende vaststellingen.

### 2.3. Verkeerstaxe

Voor de gemiddelde wagen in de steekproef bedraagt de verkeerstaxe gedurende de eerste vijf gebruiksjaren 3.000 F en vanaf het zesde jaar 2.000 F (telkens afgerond op het duizendtal).

Dit verschil van 1.000 F in de jaarlijkse kosten van een oude en van een nieuwe wagen is natuurlijk te verwaarlozen. Wij zouden de verkeerstaxe eenvoudig kunnen weglaten uit de berekeningen.

Wij hebben de verkeerstaxe in het model opgenomen, niet om het belang dat zij zelf zou hebben, maar om de rekenmethode gemakkelijk te kunnen aanpassen wanneer men ooit een subjectieve kost zou willen invoeren voor het rijden met een wagen van een zekere leeftijd. Zulke subjectieve kosten (nul in het eerste gebruikjaar en toenemend in de volgende jaren) zou men gewoon als een jaarbedrag kunnen toevoegen aan de verkeerstaxe van het betreffende jaar.

(1) L'auto-journal, januari 1975, blz.62. Wij hebben het aantal mechanische herstellingen bepaald als het quotiënt van enerzijds totale kosten en anderzijds de eenheidskost van 1,2336 % van de aankoopprijs. Het aantal herstellingen na ongeval blijft constant over de levensduur.

#### 2.4. Subjectieve kosten

In onze berekeningen hebben wij geen subjectieve kostprijs gehecht aan het pure feit met een oude of met een nieuwe wagen te rijden. Wel is de mogelijkheid opengelaten dit element in te voeren, indien gewenst. Dat is uitgelegd in vorig punt.

De subjectieve kosten die wij wel effectief aanrekenen, zijn volledig gebonden aan het aantal herstellingen. Per reparatie rekenen wij een bedrag aan dat een vergoeding is voor het gemis van de wagen en voor het persoonlijk ongemak dat met het defect gepaard gaat. Deze subjectieve kostprijs bevat niet de kosten van een takelwagen (reeds begrepen in de herstellingsuitgaven). Hij dekt echter wel de uitgaven om in een vervangingsauto of een ander transport te voorzien en hij vergoedt het tijdverlies, het wachten in de garage, het wachten langs de baan op pech<sup>te</sup> bevrijding, het missen van afspraken of andere persoonlijke nadelen die niet op een factuur verschijnen.

Gezien het subjectieve element in deze kosten, is het niet mogelijk een bepaald bedrag als het enige juiste voorop te stellen. Wij zullen daarom de berekening uitvoeren voor een aantal alternatieven, waartussen de lezer zijn keuze kan maken, nl.:

- 100 F per herstelling
- 500 F per herstelling
- 2.000 F per herstelling.

Het eerste alternatief, 100 F, lijkt ons bepaald aan de lage kant te blijven, Vrijwel alle autobezitters immers zouden meer dan 100 F willen betalen, indien zij met die supplementaire betaling zouden kunnen bekomen dat het defect onmiddellijk zou hersteld zijn, bij toverslag, zonder enig tijdverlies, zonder bezoek aan de garage, zonder geïmobiliseerd te blijven langs de baan, in één woord zonder subjectieve kosten.

Aan de andere kant lijkt 2.000 F een ruime schatting. Heel wat autobezitters zullen de subjectieve kosten prefereren boven een extra uitgave van 2.000 F.

Wij hebben ter illustratie ook één enkele keer gerekend met een subjectieve kostprijs van nul F, namelijk in het geval dat een wagen slechts 7.500 km per jaar gebruikt wordt.

### 2.5. Intrestlasten

Intrestlasten worden vaak aangerekend op een wijze die weinig gefundeerd is. Zo past men bijvoorbeeld de intrestvoet van persoonlijke leningen toe op de nieuwwaarde van de auto of op de helft van de nieuwwaarde of op nog andere arbitraire bedragen.

Wij zullen de intresten op de correcte manier berekenen, d.w.z. door alle toekomstige kosten, zowel investeringen in een nieuwe auto als herstellingen, verkeerstaxe enz., terug te rekenen naar heden. Die terugrekening geschiedt door vermenigvuldiging met  $1/(1+r)^t$  waarin  $r$  de jaarlijkse intrest is per frank en  $t$  het moment van ontstaan der beschouwde kosten, uitgedrukt in jaren na vandaag. De som van alle toekomstige kosten, op die manier teruggerekend, noemen wij de actuele kostensom.

De intrestvoet  $r$  moet de reële intrestlast weerspiegelen, d.w.z. de intrestlast boven inflatie. Over de numerieke waarde van deze reële intrestlast bestaat discussie. Het probleem wordt bemoeilijkt door de grote schommelingen zowel in de nominale intrestvoeten als in het inflatieritme. In sommige jaren overtreft zelfs de inflatie de nominale intrestvoet, zodat de reële intrest negatief is. Men kan nochtans stellen dat een reële intrestvoet van 4 % ( $r = 0,04$ ) redelijk is (1). Wij zullen ons aan deze 4 % houden.

---

(1) Zie H. GLEJSER, "Calcul du taux d'actualisation applicable aux dépenses publiques en Belgique", Cahiers Economiques de Bruxelles, 1976, 3me trimestre, blz. 293-303.

### §3. NIET-TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE BEREKENINGSMETHODE

In deze paragraaf trachten wij, zonder in technische details te treden, aan te geven hoe de herstellingsgrenzen en het uiterlijk vervangingsmoment berekend werden. De lezer die minder aan de berekeningsmethode geïnteresseerd is, kan meteen verdergaan met §4, die de concrete resultaten geeft.

De herstellingsgrens voor een auto neemt geleidelijk af naarmate die auto ouder wordt. Om zulke continue daling zeer dicht te benaderen, zouden wij kunnen dag per dag of zelfs uur per uur herstellingsgrenzen bepalen. Wij zouden vinden dat de maximale herstelling die een auto nog waard is, 's avonds enkele franken geringer is dan op de ochtend van dezelfde dag.

Niemand echter eist zulke verfijnde berekeningen. Wij mogen ons wel beperken tot de berekening van herstellingsgrenzen voor gehele jaren, d.w.z. op leeftijd 0, 1, 2, 3, 4 jaar enz. De assumptie dat binnen een geheel jaar met één enkele herstellingsgrens gewerkt wordt, zal onze berekening aanzienlijk in omvang beperken.

Wij zullen ons ook veroorloven niet verder te rekenen dan een leeftijd van 12 jaar en a priori te veronderstellen dat op een leeftijd van 12 jaar in alle geval moet vervangen worden. Deze begrenzing heeft geen praktisch effect, daar het toch vrijwel uitgesloten is dat het voertuig ooit 12 jaar in dienst zou blijven.

Dat betekent dus dat wij 12 herstellingsgrenzen  $L_i$  ( $i=0\dots 11$ ) gaan berekenen, aangevend hoeveel wij maximaal nog besteden voor de herstelling van een voertuig op leeftijd  $i$  jaar.

Daartoe bepalen wij de actuele kostensom  $v_i$  ( $i=0\dots 11$ ) voor de twaalf beschouwde leeftijden. Deze actuele kostensom is de tegenintrestvoet  $r$  teruggerekende som van alle toekomstige uitgaven indien het huidige voertuig  $i$  jaar oud is. De interessantste situatie is natuurlijk die waarin men het jongste voertuig in handen

heeft. Daarom geldt  $v_0 \leq v_1 \leq v_2 \leq v_3 \dots v_{11} \leq v_{12}$ . Vermits een voertuig van leeftijd 12 onmiddellijk door een nieuw vervangen wordt, weten wij bovendien dat  $v_{12} = A - S + v_0$ , met  $A$  = nieuwwaarde inclusief B.T.W. en  $S$  = schrootwaarde van het oude voertuig. Inderdaad, op leeftijd 12 doen wij een investeringsuitgave ten bedrage  $A-S$ , waarop de kostencyclus met waarde  $v_0$  van een nieuw voeruit start.

Wanneer wij de twaalf actuele kostensommen  $v_i$  ( $i=0\dots 11$ ) kennen, is het zeer gemakkelijk de reparatielimieten te bepalen. Zij worden gevonden uit  $L_i = A - S + v_0 - v_i$ .

In woorden betekent dit dat de herstellingsgrens gelijk is aan de uitgave voor een nieuwe auto ( $A-S$ ), waarvan men de meerkosten ( $v_i - v_0$ ) aftrekt die de oude auto nog zou meebrengen in vergelijking met een nieuwe wagen. Dit is een correcte regel: zouden een auto van leeftijd  $i$  en leeftijd nul gelijkwaardig zijn (dezelfde actuele kostensom  $v_0 = v_i$  hebben), dan zouden wij nog het volle bedrag  $A-S$  aan een reparatie op leeftijd  $i$  willen besteden. Het is slechts omdat op leeftijd  $i$  hogere toekomstige kosten te verwachten zijn ( $v_i > v_0$ ), dat wij onze reparatiegrens beneden de nieuwiguitgave  $A-S$  stellen.

De actuele kostensommen  $v_i$  bepalen dus de reparatiegrenzen. Op hun beurt evenwel worden zij zelf door de reparatiegrenzen beïnvloed. Immers, de toekomstige uitgaven zullen afhangen van de herstellingsgrenzen waarmee wij zullen werken. Deze invloed van de reparatiegrenzen op de actuele kostensommen  $v_i$  kunnen wij algemeen voorstellen in de uitdrukking  $v_i(L_0, L_1, \dots, L_{11})$ , stellend dat  $v_i$  op een bepaalde manier afhangt van de herstellingsgrenzen.

Wij bekomen dus een stelsel van 24 vergelijkingen:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad L_0 &= A - S + v_0 - v_0 \\
 (2) \quad L_1 &= A - S + v_0 - v_1 \\
 (3) \quad L_2 &= A - S + v_0 - v_2 \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 (12) \quad L_{11} &= A - S + v_0 - v_{11} \\
 (13) \quad v_0 &= v_0(L_0, L_1, \dots, L_{11}) \\
 (14) \quad v_1 &= v_1(L_0, L_1, \dots, L_{11}) \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 (24) \quad v_{11} &= v_{11}(L_0, L_1, \dots, L_{11})
 \end{aligned}$$

Het aantal onbekenden in dit stelsel is ook 24 (nl. 12 herstellingsgrenzen  $L_i$  en 12 actuele kostensommen  $v_i$ ). Onze opgave bestaat dus uit het oplossen van een stelsel van 24 vergelijkingen in 24 onbekenden.

De complexiteit van het probleem zit in de bepaling van de functies  $v_i(L_0, L_1, \dots, L_{11})$ , die de actuele kostensommen geven, afhankelijk van de herstellingsgrenzen. Deze functies zijn niet zo voor de hand liggend. Zij zijn ook niet van een gemakkelijke lineaire vorm, zodat ook het stelsel (1) tot (24) niet met technieken van lineaire algebra op te lossen is. In de appendix gaan wij hier dieper op in.

Hier moeten wij alleen nog opmerken dat wij geen uitdrukkelijke melding gemaakt hebben van een uiterlijk vervangingsmoment. Dit uiterlijk vervangingsmoment echter is impliciet wel bepaald. Het treedt namelijk op zodra men op de occasiemarkt een hogere residuwaarde kan bekomen dan de herstellingsgrens plus de schrootwaarde. Inderdaad, de herstellingsgrens plus de schrootwaarde is de waarde die wij impliciet hechten aan het voertuig. Wij



doen een goede zaak als wij het boven deze waarde verkopen. Indien men de residuwaarde in rijklare toestand op leeftijd  $i$  voorstelt met  $R_i$ , wordt het uiterlijk vervangingsmoment bepaald als de waarde van  $i$  waarvoor  $L_i$  daalt tot  $R_i - S$ .

#### §4. CONCLUSIES

De optimale herstellingsgrenzen en het uiterlijk vervangingsmoment worden gegeven in tabel 3.

Het meest verrassende in deze tabel zijn de hoge waarden van de herstellingsgrenzen, die bijvoorbeeld op een leeftijd van 5 jaar nog tot 30 % van de nieuwwaarde kunnen oplopen. Heel wat autobezitters zullen, als zij afgaan op hun intuïtie, geneigd zijn hun auto vlugger af te danken.

Tabel 3. Optimale herstellingsgrenzen en uiterlijk vervangingsmoment

Aantal km per jaar	Subjectieve kosten per herstelling (in F)	<u>Herstellingsgrenzen</u> in % v/d nieuwwaarde, B.T.W. inbegr. volgens de leeftijd v/h voertuig in jaren											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
50.000	2.000	99	59	*									
50.000	500	99	65	43	*								
50.000	100	99	66	44	*								
25.000	2.000	99	68	47	31	*							
25.000	500	99	72	52	35	23	*						
25.000	100	99	74	54	37	24	*						
15.000	2.000	99	74	54	37	24	*						
15.000	500	99	77	58	42	28	17	*					
15.000	100	99	78	60	44	30	19	*					
7.500	2.000	99	79	62	46	32	20	10	*				
7.500	500	99	82	67	53	39	27	16	7	2	*		
7.500	100	99	83	69	55	42	30	19	10	3	*		
7.500	0	99	84	70	55	42	30	19	10	4	0	0	

\* duidt het uiterlijk vervangingsmoment aan: op deze leeftijd moet men het rijklare voertuig verkopen en de residuwaarde recupereren vermeld in tabel 1.

Helemaal niet verassend daarentegen is de vaststelling dat op leeftijd nul de herstellingsgrens steeds gelijk is aan nagenoeg de ganse nieuwwaarde. Dat is logisch. Een herstelling die het voertuig in volmaakt splinternieuwe toestand brengt, zonder één kilometer op de teller, is evenveel waard als een nieuw voertuig zelf. Het ontbrekende percentje (99 in plaats van 100) is slechts de schrootwaarde van het defecte voertuig, die men zou recupereren bij aankoop van een nieuwe wagen en die men niet recupereert in geval van herstelling. In feite betekent een herstellingsgrens van 99 % dat men aan een nieuw voertuig alle herstellingen laat uitvoeren die nog mogelijk zijn. Het voertuig zou slechts geliquideerd worden na zware ongevalschade of na brand, waarvan de perfecte herstelling meer dan een nieuw voertuig zou kosten.

Zodra de wagen een tijd in dienst is, beginnen de jaarkilometrage en de subjectieve kostprijs van herstellingen hun invloed uit te oefenen. Na één jaar reeds is de herstellingsgrens gedaald tot 59 % voor de autobezitter die 50.000 km per jaar rijdt en per defect 2.000 F overheeft om het ongemak van een reparatie te ontlopen. De herstellingsgrens daalt op dat jaar tijd slechts tot 84 % wanneer de autobezitter maar 7.500 km per jaar aflegt en zich bovendien helemaal niet gehinderd voelt door het optreden van defecten.

Als men tabel 3 doorloopt van onder naar boven, merkt men dat stijgende jaarkilometrage en stijgende subjectieve kosten tot gevolg hebben dat de herstellingsgrens daalt en dat het uiterlijk vervangingsmoment vervroegt. Dat is intuïtief zeer aanvaardbaar: als men meer rijdt, heeft men meer herstellingen. Dan zal men ook vlugger moeten aansturen op de aankoop van een nieuwe wagen. En zeker moet men vlugger vervangen wanneer men een sterke subjectieve afkeer heeft van defecten.

De tabel geeft de herstellingsgrenzen slechts voor leeftijden in gehele jaren en voor een beperkt aantal combinaties van kilometrage en subjectieve kostprijs. Men kan echter interpoleren zonder een grote fout te maken.

Zo kan men horizontaal interpoleren om de herstellingsgrens te vinden op tussenliggende leeftijden. Dan vindt men bijvoorbeeld in rij 1 op leeftijd 0,5 jaar de herstellingsgrens

$$\frac{99 + 59}{2} = 79 \%$$

Vertikaal kan men op soortgelijke wijze de herstellingsgrenzen inlassen voor tussenliggende kilometrages of tussenliggende appreciaties van subjectieve kosten.

Als slot van deze bijdrage mogen wij niet nalaten twee belangrijke stappen van verder onderzoek te vermelden:

1) Het is aangewezen ook een herstellings- en vervangingsstrategie te onderzoeken, waarin de afgedankte auto niet door een nieuwe maar door een occasiewagen vervangen wordt. Rekentechnisch stelt deze uitbreiding geen problemen. Wij kunnen het model toepassen een eerste keer onder de veronderstelling dat men steeds nieuwe auto's koopt (de veronderstelling die wij nu gevolgd hebben), een tweede keer onder de veronderstelling dat men steeds auto's koopt van één jaar oud, een derde keer onder de veronderstelling dat men steeds auto's van twee jaar oud koopt, enz. Onder elke veronderstelling berekent men de optimale herstellingsgrenzen en het uiterlijk vervangingsmoment. Men kiest uiteindelijk die veronderstelling waaronder de laagste kostprijs bereikt wordt.

De moeilijkheid echter ligt op het vlak van de informatieverzameling. Wij hebben geen goede indikatie van het aantal herstellingen die met een tweedehandswagen te verwachten zijn. In tabel 2 vonden wij dat een nieuwgekochte wagen in zijn vijfde gebruiksjaar (d.w.z. op de leeftijd van vier volle jaren) 8,8 herstellingen meebrengt per 10.000 km. Wanneer wij echter een vier jaar oude occasiewagen kopen, weten wij niet hoeveel kilometers deze in het verleden gepresteerd heeft. Waarschijnlijk is dit meer dan 10.000 km per jaar. In dat geval is het cijfer

8,8 van tabel 2 niet meer geldig, maar moeten wij op onze 10.000 km een groter aantal herstellingen verwachten. Tabel 2 geldt alleen voor een constante jaarkilometrage over de hele levensduur, hetgeen plausibel is voor een wagen die niet van eigenaar verandert maar weinig waarschijnlijk voor een occasiewagen.

Een verder statistisch probleem is de bepaling van de kans dat men inderdaad een occasiewagen van de voorgenomen ouderdom op de kop kan tikken. Een ten slotte is het moeilijk de bekwaamheid van de autobezitter te schatten om een occasiewagen in goede staat te onderscheiden van een wagen met verborgen gebreken.

Het zou evenwel de moeite lonen statistisch onderzoek in die richting te doen: de occasieprijs plus de B.T.W. die men als koper van een tweedehandswagen moet dragen, is op een aantal leeftijden (vooral met geringe jaarkilometrage) geringer dan de herstellingsgrens die wij in tabel 3 bekwamen en die de impliciete waarde aangeeft welke zulk voertuig voor ons heeft. Er kan dus een potentieel voordeel schuilen in de aankoop op de tweedehandsmarkt.

2) Tevens is het aangewezen de berekening uit te voeren voor elk automerk afzonderlijk en niet slechts voor de gemiddelde wagen van de middenklasse. Ook dit is puur een kwestie van verdere informatieverzameling.

Onze steekproef vertoont heel wat variatie tussen de merken, maar zij bevat per merk slechts één of twee wagens. Dat is niet voldoende om een statistisch beduidend onderscheid tussen de merken te maken. Het zou niet verantwoord geweest zijn, op basis van deze beperkte informatie sommige merken een odium van onbetrouwbaarheid te bezorgen of andere in een gunstig daglicht te plaatsen. Dat kan slechts als men de steekproef sterk uitbreidt.

APPENDIX: INVLOED DER HERSTELLINGSGRENZEN OP DE ACTUELE KOSTENSOMMEN

Wat het probleem van de optimale herstellingsgrenzen tot een niet zo triviale aangelegenheid maakt, is de bepaling van de functies  $v_i (L_0, L_1, \dots, L_{11})$  ( $i=0, \dots, 11$ ), die wij nodig hebben in de equaties (13) tot (24) en die aangeven hoe de actuele kostensommen beïnvloed worden door de herstellingsgrenzen.

Het probleem is ingewikkeld, omdat het op drie verschillende niveau's stochastisch is:

- in het aantal herstellingen gedurende een jaar,
- in het bedrag van een herstelling,
- in het aantal jaren dat het voertuig dienst zal doen (als resultaat van de vorige twee kansprocessen en van de gestelde herstellingsgrenzen).

De gebruikelijke wiskundige afleidingen van herstellingsgrenzen (1) zijn dan ook gecompliceerd. Wij hebben deze afleidingen vereenvoudigd dank zij een bijzonder handige fictie, die zonder invloed is op de verwachte kosten  $v_i$ , maar die voor een deel het stochastisch karakter van het proces wegneemt. Deze fictie is, dat de autobezitter elke reparatie die duurder is dan de herstellingsgrens  $L_i = A - S + v_0 - v_i$ , toch tegen betaling van deze herstellingsgrens kan laten uitvoeren.

Zulke fictie beïnvloedt de verwachte kostensommen  $v_i$  niet, gezien zij de autobezitter geen voordeel biedt. Een herstelling die één frank duurder is dan  $L_i$  zou hij al niet meer laten uitvoeren. Een herstelling precies gelijk aan  $L_i$  is perfect equivalent met het aankopen van een nieuw voertuig. Het mogen of moeten kiezen voor reparatie, wanneer die reparatie precies  $L_i$  kost, is noch een voordeel, noch een nadeel. Het beïnvloedt de verwachte kosten niet.

(1) Zie b.v. N.A.J. HASTINGS, The repair limit replacement method, op.cit., blz. 347-349.

Ingevolge onze fictie echter kunnen wij voor de kostenberekening aannemen dat het voertuig met zekerheid in dienst blijft tot zijn uiterlijk vervangingsmoment. Er kan zich geen defect meer voordoen waardoor het eerder zou geliquideerd worden.

Nu wordt het ook gemakkelijk de actuele som van verwachte kosten  $v_i$  te bepalen. Zij bedraagt voor alle  $i$  van 0 tot 11:

$$v_i = \text{Min} \left\{ \underline{A-R_i+v_0}, \underline{F_i P + F_i X(1-e^{-L_i/X})} + T_i + \frac{1}{1+r} v_{i+1} \right\}$$

Dit wil zeggen dat men de actuele kostensom  $v_i$  kan bepalen door tussen de twee binnen vierkante haken vermelde grootheden de kleinste te kiezen.

De eerste grootheid,  $\underline{A-R_i+v_0}$ , is de actuele kostensom wanneer men op leeftijd  $i$  kiest voor afdanking van het oude voertuig en overschakeling naar een nieuw voertuig met actuele kostensom  $v_0$ . Voor deze overschakeling moet men boven de residuwaarde van de oude wagen het bedrag  $A-R_i$  opleggen.

De tweede grootheid is de actuele kostensom wanneer men verkiest verder te gaan met de oude wagen:  $F_i$  is het verwachte aantal herstellingen tijdens het jaar met leeftijd  $i$  (op basis van de jaar-kilometrage en van tabel 2) en  $P$  is de subjectieve kostprijs van één herstelling.  $X(1-e^{-L_i/X})$  is de gemiddelde uitgave voor één herstelling, wanneer de herstellingsbedragen exponentieel verdeeld zijn met gemiddelde  $X$  maar geplafonneerd worden op de herstellingsgrens  $L_i$ . Het bedrag  $X(1-e^{-L_i/X})$  vinden wij inderdaad als wij volgende som van twee bepaalde integralen uitrekenen:

$$\int_0^{L_i} y \frac{1}{X} e^{-y/X} dy + \int_{L_i}^{\infty} L_i \frac{1}{X} e^{-y/X} dy$$

De derde term in de actuele kostensom,  $T_i$ , is de verkeerstaxe voor een voertuig met leeftijd  $i$ . De vierde term tenslotte bevat alle beschouwde kosten die het autogebruik vanaf volgend jaar nog zal meebrengen tot een oneindige tijdshorizon. Deze kosten worden gevonden door de actuele kostensom van volgend jaar  $v_{i+1}$  één jaar terug te disconteren tegen intrestvoet  $r$ .

Op deze manier hebben wij de actuele kostensom  $v_i$  uitgedrukt in functie van de herstellingsgrenzen (rechtstreeks in functie van  $L_i$  zelf en onrechtstreeks van de herstellingsgrenzen op andere leeftijden via de term  $v_{i+1}$  of  $v_0$ .)

Normaal zal de tweede tussen vierkante haken vermelde grootheid de kleinste zijn en dus toegepast worden om  $v_i$  te bepalen. Dat betekent dat men opteert voor het verder gaan met het oude voertuig. Vanaf een bepaalde  $i$ -waarde echter wordt  $A-R_i+v_0$  de kleinste grootheid. Deze  $i$ -waarde is het uiterlijk vervangingsmoment en de actuele kostensommen  $v_i$  tot aan deze  $i$ -waarde geven de herstellingsgrenzen aan volgens de vergelijkingen (1) tot (12) in §3.

Men notere nog dat op het vervangingsmoment  $v_i = A-R_i+v_0$  en dat dus de herstellingsgrens op die leeftijd gelijk wordt aan  $L_i = A-S+v_0-v_i = R_i-S$ . Dit is de regel die wij reeds in §3 verwoord hebben: Wij vervangen zodra de herstellingsgrens daalt tot de herverkoopwaarde in rijklare toestand minus de schrootwaarde.