

# **Algemene en periodieke trends in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid in acht ontwikkelde landen**

Dr. J.J.F. Commandeur

R-2002-17



**Algemene en periodieke trends in de  
ontwikkeling van de verkeersveiligheid in  
acht ontwikkelde landen**

## Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2002-17
Titel:	Algemene en periodieke trends in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid in acht ontwikkelde landen
Auteur(s):	Dr. J.J.F. Commandeur
Onderzoeksthema:	Analyse ontwikkelingen verkeersveiligheid
Themaleider:	Dr. J.J.F. Commandeur
Projectnummer SWOV:	37.111
Trefwoorden:	Safety, development, mathematical model, mobility (pers), vehicle mile, fatality, trend (stat), statistics, Belgium, France, Germany, Japan, Sweden, USA, England, Netherlands.
Projectinhoud:	In dit rapport wordt onderzocht in hoeverre de resultaten van een eerder onderzoek van Commandeur & Koornstra (2001) naar de macroscopische ontwikkelingen in de Nederlandse verkeersveiligheid kunnen worden gevalideerd. Dit is gedaan met behulp van analyses van diezelfde macroscopische ontwikkelingen in andere ontwikkelde landen. Er is specifiek gekeken naar een mogelijke samenhang tussen de afwijkingen voor de mobiliteitscijfers en die voor het fatale risico.
Aantal pagina's:	36 + 7
Prijs:	€ 11,25
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 2002

## Samenvatting

In dit rapport wordt onderzocht in hoeverre de resultaten van een eerder onderzoek van Commandeur & Koornstra (2001) naar de macroscopische ontwikkelingen in de Nederlandse verkeersveiligheid kunnen worden gevalideerd. Dit is gedaan met behulp van analyses van diezelfde macroscopische ontwikkelingen in andere ontwikkelde landen.

In dit eerdere onderzoek zijn de Nederlandse ontwikkelingen in de jaren 1948 tot en met 1998 op het gebied van de verkeersonveiligheid op macroscopisch niveau geanalyseerd. Hierbij is de algemene trend in de ontwikkeling van de Nederlandse mobiliteit gemodelleerd met het zogenaamde Gompertz-model, waarbij het jaarlijks aantal verreden motorvoertuigkilometers is gebruikt als indicator voor de Nederlandse mobiliteit. De algemene trend in het fatale risico (de ratio van het jaarlijkse aantal verkeersdoden en het jaarlijkse aantal verreden motorvoertuigkilometers) is gemodelleerd met het zogenaamde exponentieel dalende model. Tijdens dit onderzoek bleek dat deze modellen de geobserveerde jaarcijfers weliswaar redelijk goed beschrijven, maar dat de modellen tegelijkertijd ook systematische afwijkingen vertonen.

Bovendien kwam naar voren dat het product van de gemodelleerde mobiliteits- en risicocijfers (dat per definitie gelijk is aan de voorspelling voor de aantallen doden) nog sterkere afwijkingen vertoont van de geobserveerde aantallen doden dan bij de gemodelleerde mobiliteits- en risicocijfers het geval was.

Aangezien dit erop duidt dat er een samenhang moet bestaan tussen de afwijkingen voor de mobiliteitscijfers en die voor het fatale risico, is de aard van deze samenhang in Commandeur & Koornstra (2001) nader onderzocht. Hierbij kwam naar voren dat de afwijkingen voor het risico een sterke negatieve samenhang vertonen met de afwijkingen van de mobiliteit 10 à 11 jaar later. Daarnaast bleken de afwijkingen binnen de mobiliteit een goede voorspelling te vormen voor de afwijkingen van de mobiliteit van één en vijftien jaar later, en bleken de afwijkingen binnen het fatale risico een goede voorspelling te vormen voor de risicoafwijkingen van één à twee jaar later. Deze vier zogenaamde periodieke trends werden vervolgens gebruikt om de voorspelling van de aantallen dodelijke Nederlandse verkeersslachtoffers in de periode 1948-1998 significant te verbeteren.

Naar aanleiding van deze bevindingen is besloten om te onderzoeken of de bovenbeschreven periodieke trends ook in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid van andere landen dan Nederland worden aangetroffen. Zo ja, dan zou dit op zijn minst een ondersteuning vormen voor de in Nederland aangetroffen periodieke ontwikkelingen. In het kader van dit rapport zijn de bovengenoemde analyses dan ook opnieuw uitgevoerd voor de mobiliteits- en risicocijfers van de volgende zeven landen: België, Engeland, Frankrijk, Japan, de Verenigde Staten, voormalig West-Duitsland en Zweden.

Uit deze analyses blijkt dat er in deze zeven landen geen algemene ondersteuning wordt gevonden voor de voor Nederland geconstateerde negatieve samenhang tussen de afwijkingen van de algemene trend in het fatale risico en de 10 à 11 jaar vertraagde afwijkingen van de algemene

trend in de mobiliteit. Niet alleen varieert de tijdsduur van deze vertraging aanzienlijk over de verschillende landen, maar bovendien blijkt de samenhang tussen de afwijkingen soms negatief, soms positief te zijn. Dit ondergraaft op zijn minst het in Commandeur & Koornstra geopperde idee als zou een versterkte groei van de mobiliteit te allen tijde en overal enige jaren later resulteren in een versterkte afname van het risico.

De voor Nederland gevonden vijftienjaarlijkse periodieke trend binnen de mobiliteit vertoont weliswaar wat meer consistentie (hij is tenminste in alle landen negatief), maar ook de tijdsspanne van de periodiciteit van deze trend blijkt in de onderzochte landen aanzienlijk te variëren. Daarnaast is de gezamenlijke verbetering van deze periodieke trends in de voorspelling van het aantal verkeersdoden slechts in de helft van de onderzochte landen significant.

Het huidige rapport eindigt dan ook met de aanbeveling om de macroscopische ontwikkelingen in de nationale verkeersveiligheid alleen te modelleren in termen van algemene trends, zonder de toevoeging van periodieke trends. Ten slotte wordt een aantal argumenten aangevoerd die ervoor pleiten om de in dit rapport gehanteerde deterministische Gompertz- en exponentieel dalende modellen in eventueel toekomstig onderzoek in een probabilistische context te analyseren.

## Summary

### **General and periodic trends in the road safety development of eight developed countries**

In this report, a study is made of the extent in which the results of an earlier study of the macroscopic developments in the Netherlands road safety by Commandeur & Koornstra (2001), can be validated using analyses of the same macroscopic developments in other developed countries.

In this previous study, the Netherlands road safety developments for the period 1948-1998 were analysed at the macroscopic level. In this study, the general trend in the development of the Netherlands exposure was modelled using the so-called Gompertz-model which uses the annual number of motor vehicle kilometres travelled as indicator for the Netherlands exposure. The general trend in the fatal risk (the ratio of the annual number of deaths and the annual number of motor vehicle kilometres travelled) was modelled using the so-called exponential decreasing model. During this study it appeared that these models indeed describe the observed annual data relatively well, but that the models simultaneously show systematic deviations.

Moreover, it appeared that the product of the modelled exposure and risk data (per definition equal to the prediction of the numbers of deaths) showed even greater deviations in the observed numbers of deaths than was the case with the modelled exposure and risk data.

Seeing as this indicates that there must be a relation between the deviations in the exposure data and those in the fatal risk, the nature of this relation found in Commandeur & Koornstra has been studied further. This showed that the deviations in the risk have a strong, negative relation with the exposure deviations 10 to 11 years later. In addition, the deviations within the exposure appear to be a good prediction for the deviations in the exposure of 1 to 15 years later, and the deviations within the fatal risk appear to be a good prediction of the risk deviations 1 to 2 years later. These four so-called periodic trends were then used to significantly improve the prediction of the number of Netherlands road deaths for the period 1948-1998.

As a result of these findings, it was decided to study if the above-mentioned periodic trends are also present in the road safety development in other countries. If this is so, this would at least give support to the trends found in the Netherlands. This report, therefore, also contains the above-mentioned analyses carried out for the exposure and risk data of the following seven countries: Belgium, France, Great Britain, Japan, Sweden, the United States, and West Germany.

The analyses showed that, in these seven countries, no general support was to be found for the observed, negative relation between the deviations in the general trend of the fatal risk and the 10 to 11 year delayed deviations in the general trend of the exposure. The time duration of this delay not only varies between the various countries but, moreover, the relation between deviations sometimes seems negative and sometimes positive. This, at least, undermines the idea advanced in Commandeur & Koornstra that an increased exposure growth will always and everywhere lead to an increased risk reduction several years later.

The 15-year periodic exposure trend found for the Netherlands indeed shows a greater consistency (it is at least negative in all countries), but the time span of the periodicity of this trend also appears to vary considerably in the countries studied. In addition, the joint improvement of these periodic trends for predicting the number of road deaths was only significant in 4 of the 8 countries.

This report, therefore, concludes with the recommendation to only model the macroscopic developments in the national road safety in terms of general trends, without the addition of periodic trends. Finally, a number of arguments are given that speak strongly in favour of using the applied deterministic Gompertz and exponential decreasing models to analyse any future research in a probabilistic context.



# Inhoud

1.	<b>Inleiding</b>	8
2.	<b>Modellen</b>	10
3.	<b>Algemene en periodieke trends</b>	14
3.1.	België	14
3.2.	Engeland	16
3.3.	Frankrijk	18
3.4.	Japan	20
3.5.	Verenigde Staten	22
3.6.	Voormalig West-Duitsland	24
3.7.	Zweden	26
4.	<b>Samenvatting en conclusies</b>	29
5.	<b>Hoe nu verder?</b>	34
	<b>Literatuur</b>	36
	<b>Bijlage</b>	37

# 1. Inleiding

In een eerder onderzoek van Commandeur & Koornstra (2001) zijn de Nederlandse ontwikkelingen in de jaren 1948 tot en met 1998 op het gebied van verkeersonveiligheid op macroscopisch niveau geanalyseerd. Hierbij is de algemene trend in de ontwikkeling van de Nederlandse mobiliteit gemodelleerd met het zogenaamde Gompertz-model, waarbij het jaarlijks aantal verreden motorvoertuigkilometers is gebruikt als indicator voor de Nederlandse mobiliteit. De algemene trend in het fatale risico (de ratio van het jaarlijkse aantal verkeersdoden en het jaarlijkse aantal verreden motorvoertuigkilometers) is gemodelleerd met het zogenaamde exponentieel dalende model. Gebleken is dat deze modellen de geobserveerde jaarcijfers weliswaar redelijk goed beschrijven, maar dat de modellen tegelijkertijd ook systematische afwijkingen vertonen: gedurende langere aaneengesloten periodes worden zowel de mobiliteits- als de fatale risicocijfers onder- dan wel overschat.

Bovendien is gebleken dat het product van de gemodelleerde mobiliteits- en risicocijfers (dat per definitie gelijk is aan de voorspelling voor de aantallen doden) nog sterkere afwijkingen vertoont van de geobserveerde aantallen doden dan bij de gemodelleerde mobiliteits- en risicocijfers het geval was.

Aangezien dit erop duidt dat er een samenhang moet bestaan tussen de afwijkingen voor de mobiliteitscijfers en die voor het fatale risico, is de aard van deze samenhang in Commandeur & Koornstra (2001) nader onderzocht. Hierbij kwam naar voren dat de afwijkingen voor het risico een sterke negatieve samenhang vertonen met de afwijkingen van de mobiliteit 10 à 11 jaar later. Daarnaast vormen de afwijkingen binnen de mobiliteit een goede voorspelling voor de afwijkingen van de mobiliteit van één en vijftien jaar later, en de afwijkingen binnen het fatale risico een goede voorspelling voor de risicoafwijkingen van één à twee jaar later. Deze vier zogenaamde periodieke trends zijn vervolgens gebruikt om de voorspelling van de aantallen dodelijke Nederlandse verkeersslachtoffers in de periode 1948-1998 significant te verbeteren.

In Commandeur & Koornstra (2001) wordt de volgende mogelijke verklaring gegeven voor de geconstateerde samenhang van 10 à 11 jaar tussen de afwijkingen voor het risico en de mobiliteit:

“Een versnelling in de groei van de mobiliteit heeft een negatief effect op de ontwikkeling van het risico. Dit leidt tot maatregelen om de verkeersveiligheid te verbeteren. Echter de tijd die het kost om deze maatregelen te treffen en uit te voeren nemen een periode van ongeveer 10 à 11 jaar in beslag. Een versnelling in de mobiliteitsgroei leidt dus tijdelijk tot een verhoogd risico, maar uitgesteld (ongeveer 10 jaar later) juist tot een verlaging van het risico. Omgekeerd leidt een vertraging in de mobiliteitsgroei op het moment zelf tot een versnelde afname van het risico maar, omdat hierdoor maatregelen uitblijven, ongeveer 10 jaar later juist tot een geringere afname van het risico.”

De gevonden samenhangen tussen de trendafwijkingen in mobiliteit en diezelfde trendafwijkingen van één jaar eerder, en tussen de trendafwijkingen in risico en diezelfde trendafwijkingen van één à twee jaar eerder, zijn een rechtstreeks gevolg van de systematiek in de trendafwijkingen van respectievelijk het Gompertz- en het exponentieel dalende model. Deze leiden ertoe dat trendafwijkingen in een bepaald jaar over het

algemeen een goede prognose geven voor de trendafwijkingen in het daaropvolgende jaar.

De in het rapport geconstateerde samenhang ten slotte tussen de trendafwijkingen in mobiliteit en diezelfde trendafwijkingen van ongeveer 15 jaar eerder, kan mogelijk verklaard worden als de weerslag van een cyclus in economische ontwikkelingen.

Naar aanleiding van deze bevindingen is besloten om te onderzoeken of de bovenbeschreven periodieke trends ook in de ontwikkeling van de verkeersveiligheid van andere landen dan Nederland worden aangetroffen. Zo ja, dan zou dit op zijn minst een ondersteuning vormen voor de in Nederland aangetroffen periodieke trends.

In het kader van dit rapport zijn de bovengenoemde analyses dan ook opnieuw uitgevoerd voor de mobiliteits- en risicocijfers van de volgende landen: België, Engeland, Frankrijk, Japan, de Verenigde Staten, voormalig West-Duitsland en Zweden. Het rapport beschrijft de resultaten van het onderzoek naar voorkomen en aard van periodieke trends in deze zeven landen.

## 2. Modellen

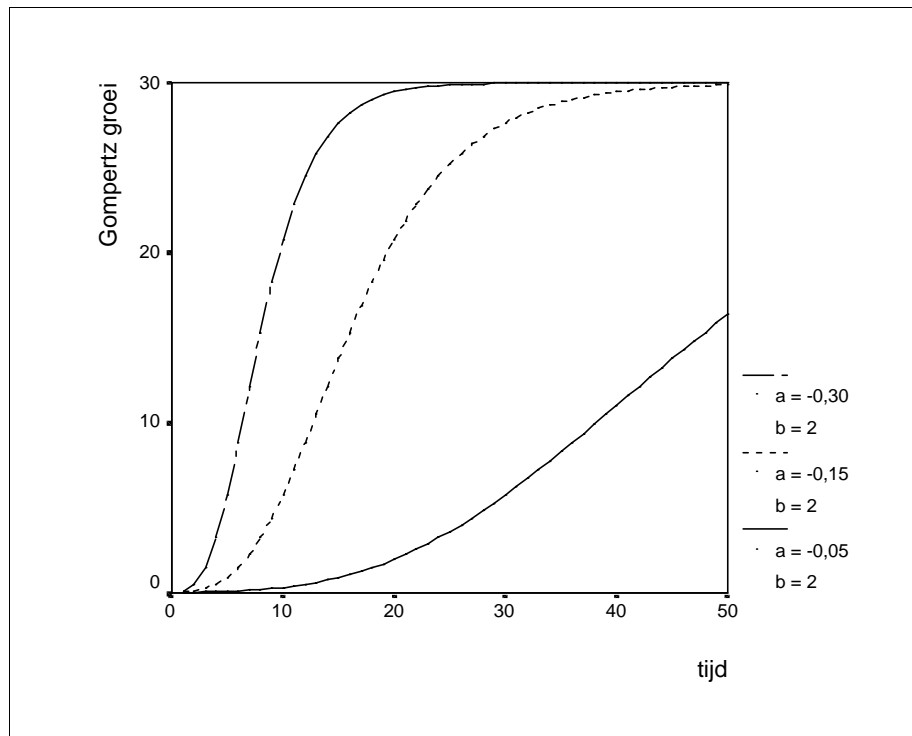
In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van de twee modellen die gebruikt zijn voor het modelleren van de algemene trend in de ontwikkeling van de mobiliteit, en van het fatale risico. Voor meer gedetailleerde informatie over deze modellen wordt o.a. verwezen naar Koornstra (1987, 1988), Oppe, Koornstra & Roszbach (1988), Oppe (1989, 1991a, 1991b) en Commandeur & Koornstra (2001).

Voor de beschrijving van de algemene trend in de ontwikkeling van de mobiliteit is het zogenaamde Gompertz-model gebruikt. Dit model beschrijft groeiprocessen met een asymmetrische S-vormige curve als functie van de tijd, en heeft de volgende vorm:

$$V_t = \left( V_m e^{-e^{-at+b}} \right) (\varepsilon_t) \quad (1)$$

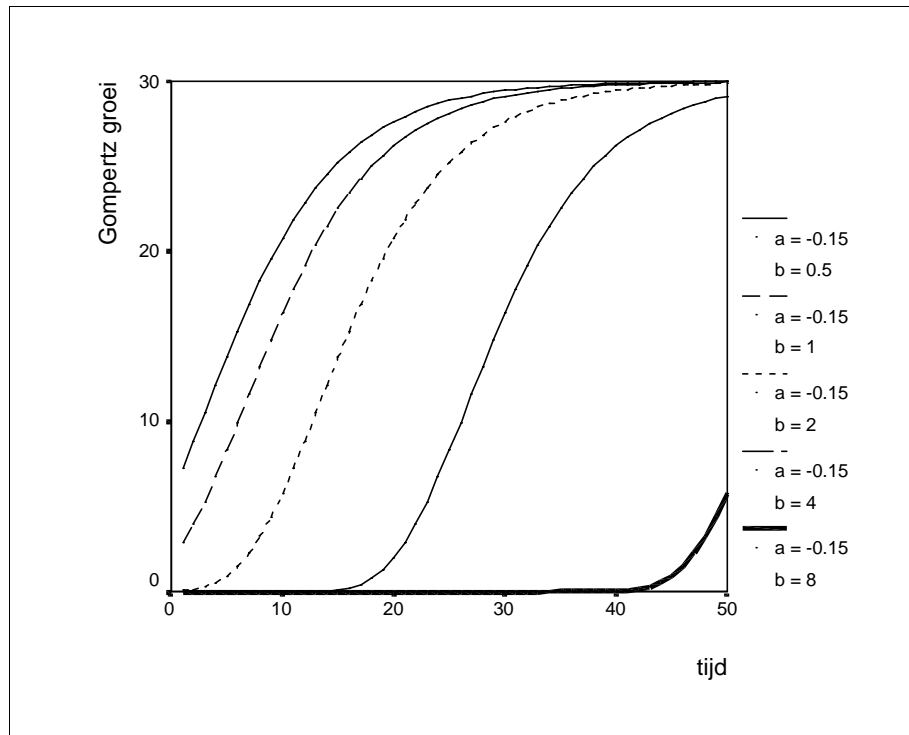
Hierin is  $t$  de gegeven variabele tijd,  $V_t$  de gegeven mobiliteit op tijdstip  $t$  en  $\varepsilon_t$  de afwijking van het model op tijdstip  $t$ , terwijl  $V_m$ ,  $a$  en  $b$  de onbekende (te schatten) parameters van het Gompertz-model zijn. Kenmerkend voor de Gompertz-groeicurve is dat deze aanvankelijk een snelle stijging en vervolgens een langzame afplating vertoont.

De parameters  $V_m$ ,  $a$  en  $b$  in model (1) kunnen inhoudelijk als volgt worden geïnterpreteerd. Parameter  $V_m$  geeft de maximale waarde aan die de Gompertz-groeicurve in de (verre) toekomst kan bereiken. Parameter  $a$  geeft aan hoe snel de groei plaatsvindt. In *Afbeelding 1* worden drie voorbeelden van Gompertz-curven weergegeven, waarbij de waarden voor parameters  $V_m$  en  $b$  constant zijn gehouden. De maximale waarde die de groeicurven in *Afbeelding 1* kunnen bereiken is steeds op  $V_m = 30$  gezet, en parameter  $b$  is steeds gelijk aan  $b = 2$ . Alleen de waarde van parameter  $a$  varieert over de drie curven.



Afbeelding 1. Illustratie van het effect van de groeiparameter  $a$  in het Gompertz-model, onder constant houden van  $V_m$  en  $b$ .

Zoals Afbeelding 1 laat zien, gaan kleinere negatieve waarden van  $a$  gepaard met een langzamere groei, terwijl grotere negatieve waarden van  $a$  een snellere groei betekenen.



Afbeelding 2. Illustratie van het effect van de locatieparameter  $b$  in het Gompertz-model, onder constant houden van  $V_m$  en  $a$ .

In Afbeelding 2 wordt getoond welk effect de waarde van parameter  $b$  in model (1) heeft op de groeicurve. In deze Afbeelding zijn parameters  $V_m$  en  $a$  constant gehouden. Zoals Afbeelding 2 illustreert is de waarde van parameter  $b$  bepalend voor de locatie van het inflectiepunt van de groeicurve in de tijd. Het inflectiepunt is het punt van de curve waar de holle aanvangsstijging omslaat in een bolle afplating.

In Commandeur & Koornstra (2001) werd de optimale waarde van parameter  $V_m$  nog bepaald door verschillende vaste waarden voor  $V_m$  in (1) te substitueren, en voor ieder van deze waarden de bij de mobiliteitsgegevens best passende waarden voor parameters  $a$  en  $b$  te bepalen. Die combinatie van waarden voor  $V_m$ ,  $a$  en  $b$  die de kleinste afwijkingen  $\varepsilon_t$  in (1) opleverde werd vervolgens als de best passende Gompertz-curve aangemerkt. In het kader van dit rapport is deze enigszins ad-hocachtige procedure vervangen door een expliciete optimalisatieprocedure waarin deze drie parameters simultaan middels een iteratief gewogen kleinste-kwadratenalgoritme worden geschat.

Voor het beschrijven van de algemene trend in het fatale risico is het zogenaamde exponentieel dalende model gebruikt:

$$R_t = e^{\alpha + \beta t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

In dit model is  $t$  de gegeven variabele tijd,  $R_t$  het gegeven fatale risico op tijdstip  $t$  en  $\varepsilon_t$  de afwijking van het model op tijdstip  $t$ , terwijl  $\alpha$  en  $\beta$  de onbekende (te schatten) parameters van het exponentieel dalende model

zijn. Analoot aan het Gompertz-model is de waarde van parameter  $\alpha$  in (2) bepalend voor de snelheid waarmee de exponentiële curve daalt, terwijl de waarde van parameter  $\beta$  aangeeft waar de curve in de tijd gelokaliseerd is. Om deze twee parameters te schatten wordt weer een iteratief gewogen kleinste-kwadratenmethode gehanteerd.

Aangezien het fatale risico gedefinieerd is als de ratio van het aantal verkeersdoden en het aantal verreden motorvoertuigkilometers, kan de ontwikkeling in de tijd van het aantal verkeersdoden beschreven worden als het product van de Gompertz-curve voor de mobiliteit, en van de exponentieel dalende curve voor het fatale risico.

In het kader van dit rapport zijn deze twee modellen gebruikt om de algemene trends in de ontwikkeling van de mobiliteit en het fatale risico in een zevental landen te beschrijven. Vervolgens is voor ieder land onderzocht of en hoe de door deze modellen voorspelde ontwikkelingen kunnen worden verbeterd door het introduceren van periodieke trends. Hiertoe zijn in de tijd vertraagde samenhangen onderzocht tussen en binnen de residuen van het Gompertz-en het exponentieel dalende model. De residuen van het Gompertz-model voor de mobiliteit zijn gelijk aan:

$$\ln(V_t / \hat{V}_t)$$

Daarbij zijn  $\hat{V}_t$  de door het Gompertz-model voorspelde jaarcijfers voor de mobiliteit. Analoot zijn de residuen van het exponentieel dalende model voor fataal risico gelijk aan:

$$\ln(R_t / \hat{R}_t)$$

Met name is gekeken of de in Commandeur & Koornstra (2001) voor Nederland geconstateerde vertraagde negatieve samenhang tussen de residuen van het risico en de residuen van de mobiliteit 10 à 11 jaar later in andere landen wordt teruggevonden. Ook is gekeken of dat het geval is voor de vertraagde negatieve samenhang tussen de residuen van de mobiliteit en diezelfde residuen 15 jaar later. Ten slotte wordt onderzocht in hoeverre het toevoegen van deze periodieke trends aan de algemene trends leidt tot een significante verbetering van de voorspelling van de landelijke aantallen verkeersdoden.

### 3. Algemene en periodieke trends

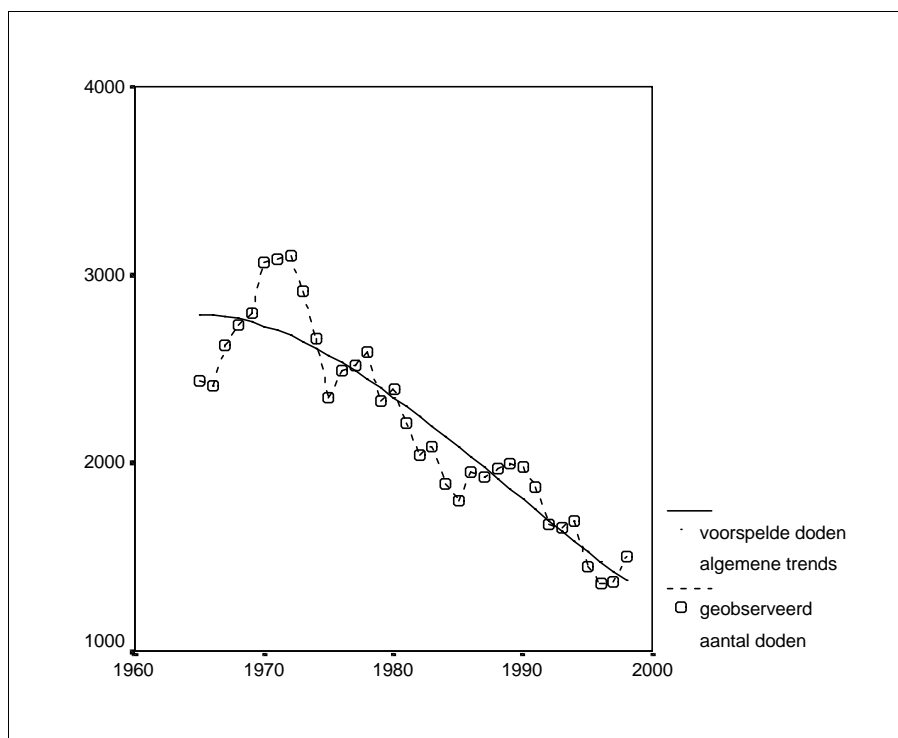
In de volgende paragrafen worden de algemene en periodieke trends in de ontwikkeling van de verkeersonveiligheid onderzocht en besproken voor de volgende landen: België, Engeland, Frankrijk, Japan, de Verenigde Staten, voormalig West-Duitsland en Zweden. Alle bij deze analyses gehanteerde jaarcijfers zijn opgenomen in de *Bijlage* van dit rapport. Evenals in Commandeur & Koornstra (2001) zijn als indicator voor de mobiliteit steeds de jaarcijfers gehanteerd van het aantal miljard verreden motorvoertuigkilometers in het betreffende land. Bij het onderstaande onderzoek naar periodieke trends zijn vertraagde samenhangen tussen afwijkingen van het Gompertz-en exponentieel dalende model steeds beperkt tot vertragingen van maximaal 20 jaar, omdat de resterende jaren anders een te kort tijdsbestek vormen om nog betrouwbare uitspraken aan te kunnen verbinden.

#### 3.1. België

De Belgische jaarcijfers van het aantal doden en van het aantal motorvoertuigkilometers (mvt-km) zijn helaas alleen bekend voor de periode 1965 t/m 1998 (zie *Tabel A* in de *Bijlage*). Dit is een tijdreeks van slechts 34 jaar. Voor betrouwbare resultaten van de hier gehanteerde analyses zijn liefst tijdreeksen nodig van ongeveer 50 jaar. De voor dit land gevonden resultaten moeten dan ook met enige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

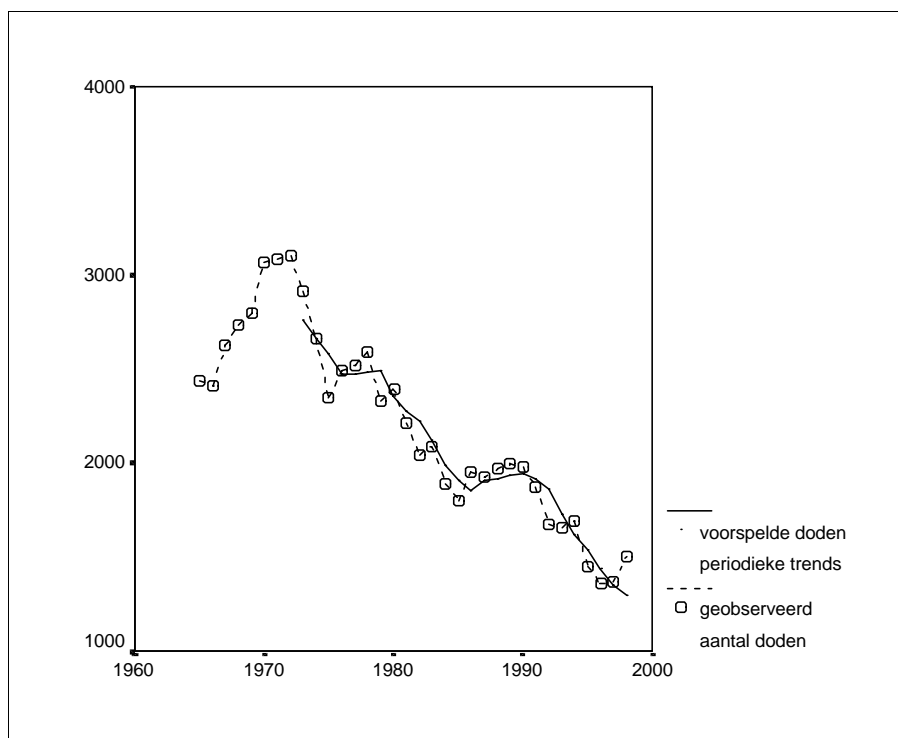
De optimalisatieprocedure voor het fitten van het Gompertz-model op de Belgische jaarcijfers in de periode 1965-1998 van het aantal verreden motorvoertuigkilometers levert een schatting van de maximale Belgische mobiliteit op de lange termijn die gelijk is aan 219 miljard mvt-km. Het product van de algemene trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in België geobserveerde jaarcijfers voor aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 3*.





Afbeelding 3. Geobserveerde aantallen doden in België, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Uit onderzoek naar mogelijke samenhangen tussen de afwijkingen in mobiliteit en risico blijkt er een 6 à 7 jaar vertraagde negatieve samenhang tussen deze afwijkingen te bestaan. Bovendien bestaat er een negatieve samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en diezelfde afwijkingen 7 jaar later. Daarnaast is er, net als in de Nederlandse situatie, een positieve samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en diezelfde afwijkingen één jaar later, en een positieve samenhang tussen de afwijkingen van het risico en diezelfde afwijkingen één à twee jaar later. Deze vier periodieke trends zijn vervolgens gebruikt om de in *Afbeelding 3* getoonde voorspelling van de Belgische jaarcijfers voor het aantal doden te verbeteren. Na toevoeging van deze periodieke trends ontstaat het in *Afbeelding 4* getoonde beeld.

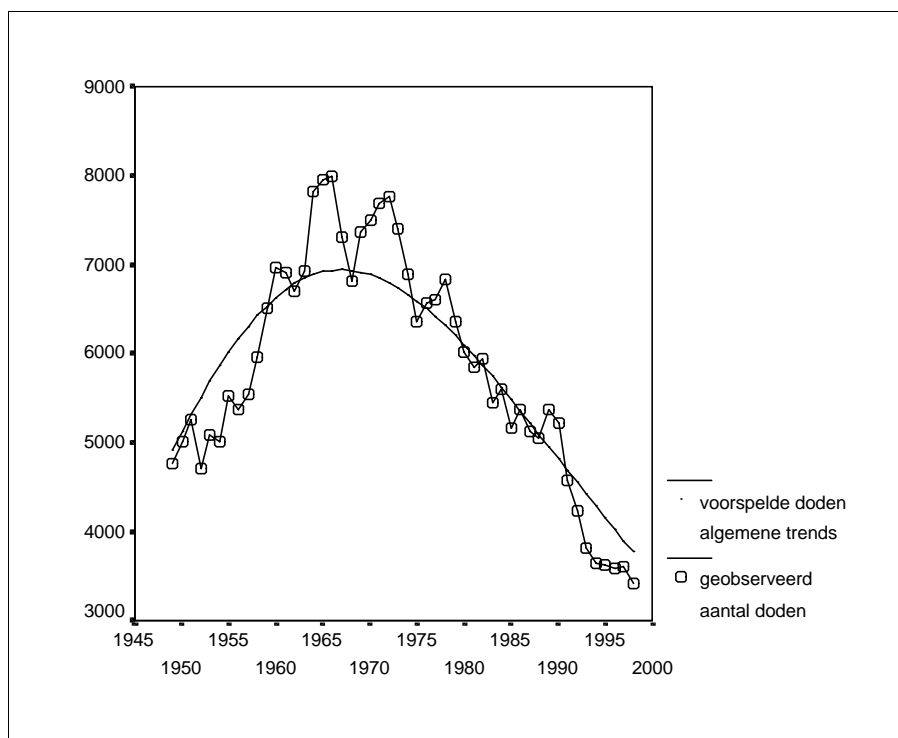


Afbeelding 4. Geobserveerde aantallen doden in België, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Het toevoegen van de vier periodieke trends levert dus wel een verbetering op in de voorspelling van het aantal doden, maar een F-toets toont aan dat deze verbetering, in tegenstelling tot de Nederlandse situatie, niet significant is op 5%-niveau.

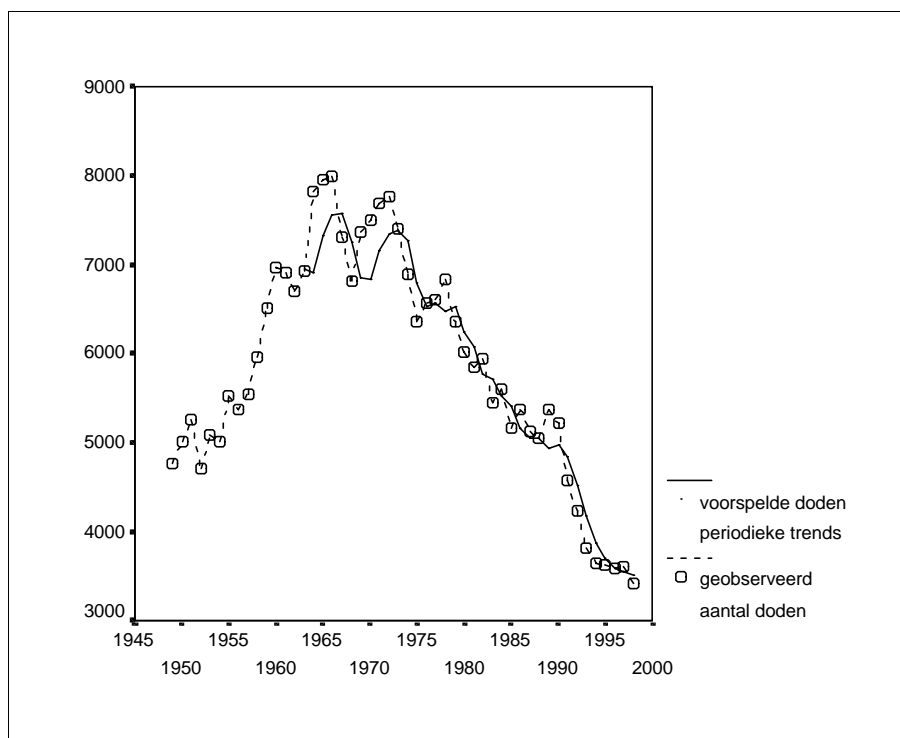
### 3.2. Engeland

Voor Engeland zijn jaarcijfers van het aantal verreden motorvoertuigkilometers en van het aantal verkeersdoden bekend voor de jaren 1949 t/m 1998 (zie *Tabel B* in de *Bijlage*). Bij het fitten van het Gompertz-model op de jaarcijfers voor de mobiliteit wordt de maximale mobiliteit van Engeland op de lange termijn geschat op 768 miljard mvt-km. Het product van de algemene trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in Engeland geobserveerde aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 5*.



Afbeelding 5. Geobserveerde aantallen doden in Engeland, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Naast positieve samenhangen tussen de afwijkingen van de mobiliteit en die van één jaar later, en tussen de afwijkingen van het risico en die van één à twee jaar later, wordt een positieve 11 jaar vertraagde samenhang gevonden tussen de afwijkingen van de mobiliteit en van het risico. Bovendien is er sprake van een negatieve samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en diezelfde afwijkingen 12 à 13 jaar later. Het toevoegen van deze vier periodieke trends aan de voorspelling van de Engelse jaarcijfers voor het aantal doden levert de in *Afbeelding 6* weergegeven situatie op.

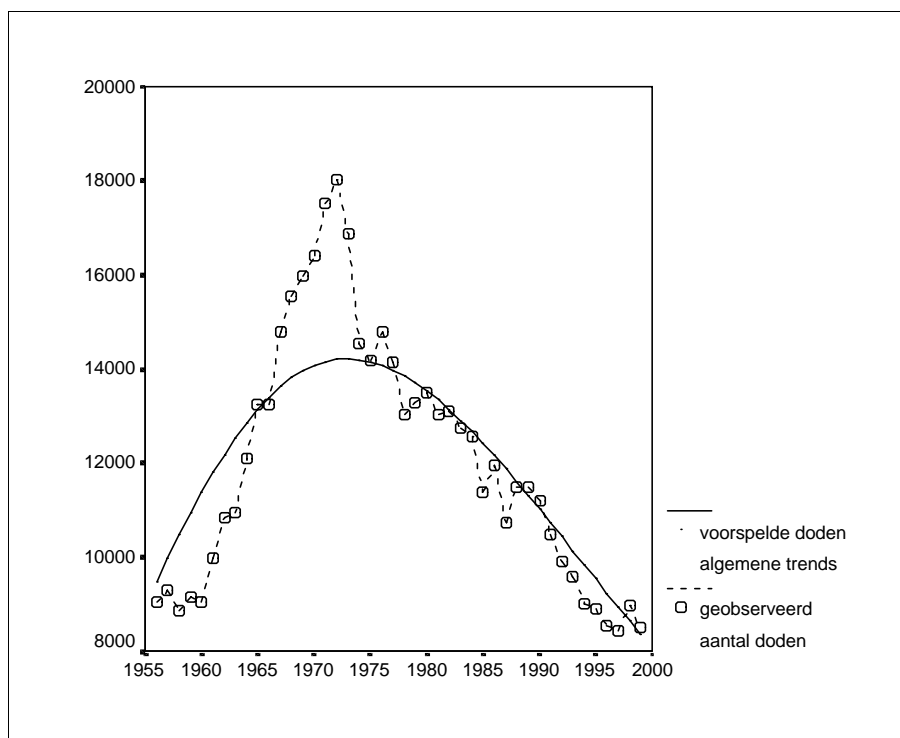


Afbeelding 6. Geobserveerde aantallen doden in Engeland, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Het toevoegen van periodieke trends levert dus wel een verbetering op in de voorspelling van het aantal doden, maar een F-toets toont aan dat deze verbetering (net) niet significant is op 5%-niveau.

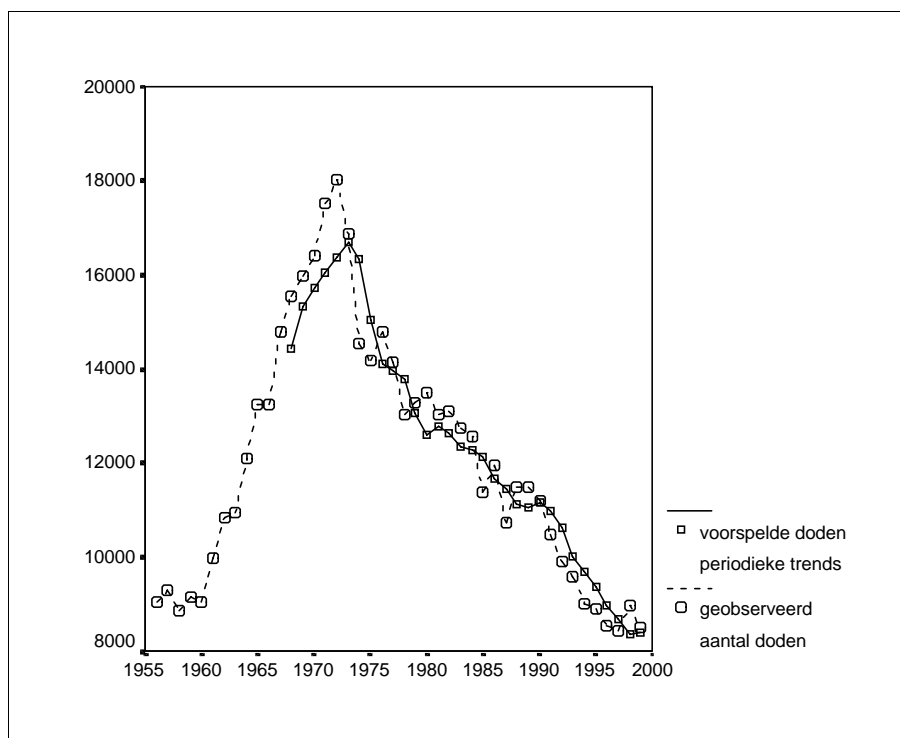
### 3.3. Frankrijk

Bij het fitten van het Gompertz-model op de Franse jaarcijfers in de periode 1956-1999 van het aantal verreden motorvoertuigkilometers (zie *Tabel C* in de *Bijlage*) wordt de maximale mobiliteit op de lange termijn geschat op 792 miljard mvt-km. Het product van de algemene trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in Frankrijk geobserveerde aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 7*.



Afbeelding 7 Geobserveerde aantallen doden in Frankrijk, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Naast de autoregressieve trends van één jaar binnen de mobiliteit en van één à twee jaar binnen het fatale risico, is er voor Frankrijk een negatieve 7 jaar vertraagde samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en het risico, en een negatieve samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en diezelfde afwijkingen 11 jaar later. *Afbeelding 8* laat het effect zien van de toevoeging van deze vier periodieke trends aan de voorspelling van de aantallen verkeersdoden in Frankrijk.

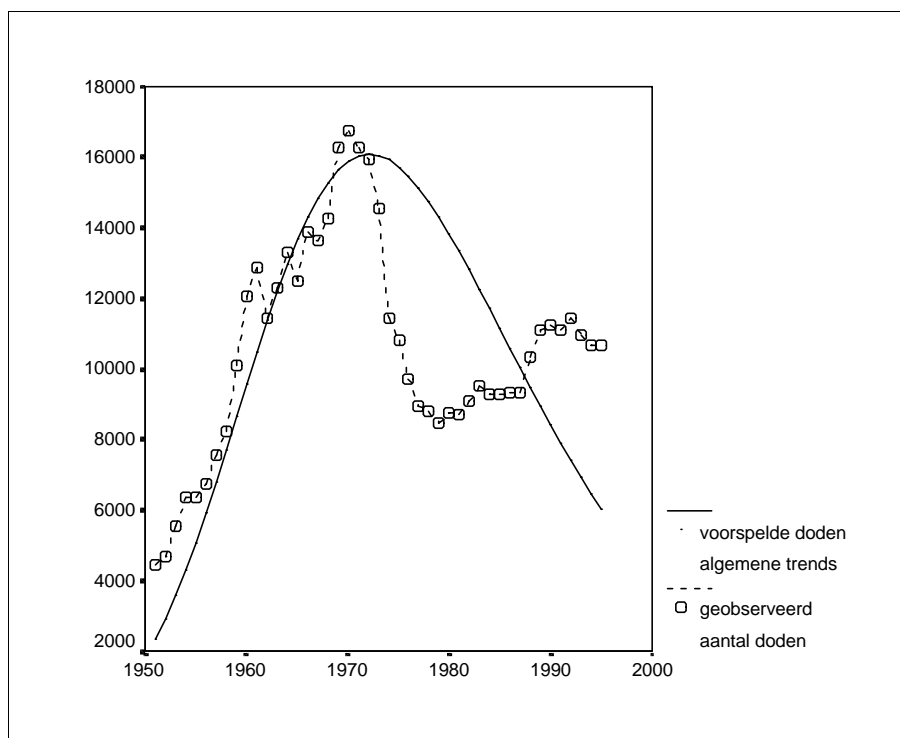


Afbeelding 8. Geobserveerde aantallen doden in Frankrijk, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Het toevoegen van de periodieke trends levert een verbetering op in de voorspelling van het aantal doden, en een F-toets toont aan dat deze verbetering significant is op 1% niveau.

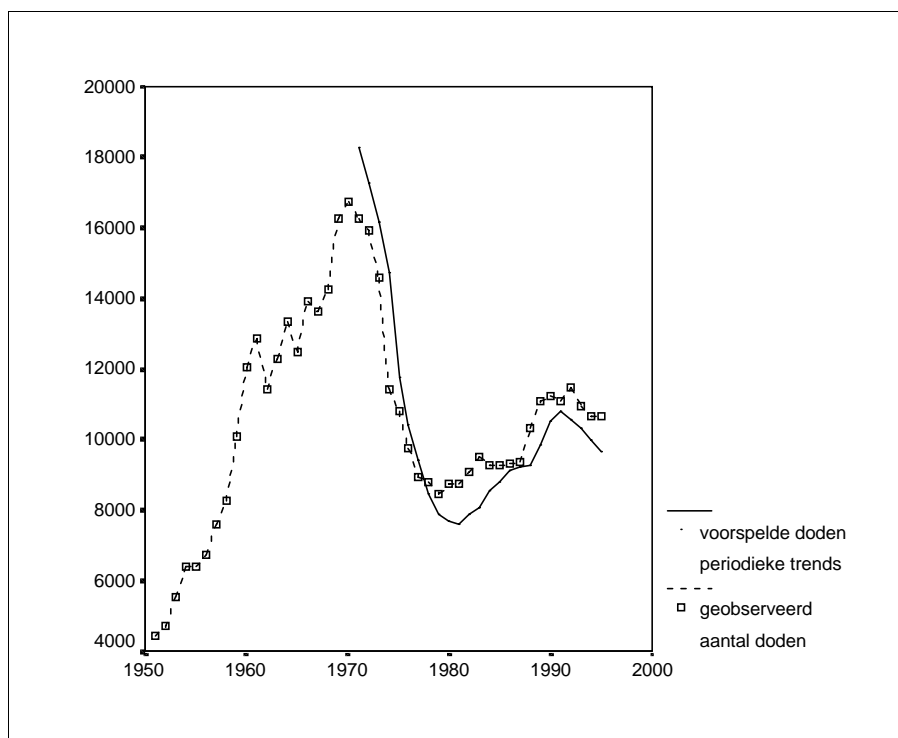
#### 3.4. Japan

Bij het fitten van het Gompertz-model op de Japanse jaarcijfers in de periode 1951-1995 van het aantal verreden motorvoertuigkilometers (zie *Tabel D* in de *Bijlage*) wordt de maximale mobiliteit op de lange termijn geschat op 1211 miljard mvt-km. Het product van de algemene Gompertz- en exponentieel dalende trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in Japan geobserveerde aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 9*.



Afbeelding 9. Geobserveerde aantallen doden in Japan, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Binnen de algemene trend in de Japanse mobiliteit is er een positieve samenhang tussen de afwijkingen in mobiliteit en die van één jaar later, en een negatieve samenhang tussen de afwijkingen in mobiliteit en die van 12 jaar later. Binnen de algemene trend in de ontwikkeling van het Japanse risico is er een positieve samenhang tussen de afwijkingen en die van één à twee jaar later. Ten slotte is er een positieve 19 jaar vertraagde samenhang tussen de afwijkingen van het risico en die van de mobiliteit. Het resultaat van het toevoegen van deze vier periodieke trends aan de voorspelling van de aantallen doden is weergegeven in *Afbeelding 10*.



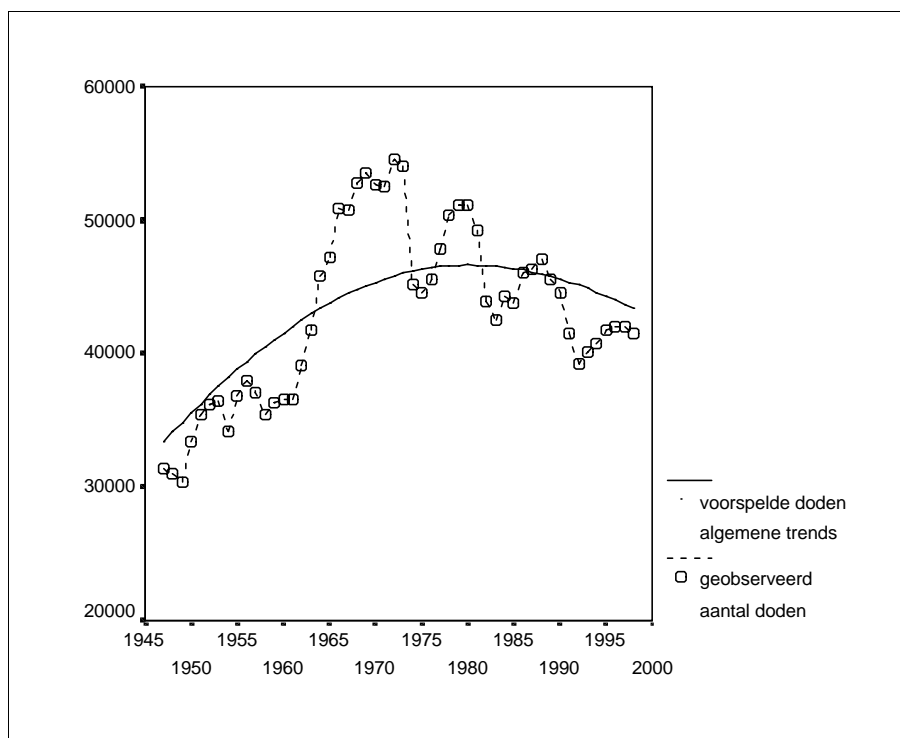
Afbeelding 10. Geobserveerde aantallen doden in Japan, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Voor Japan levert het toevoegen van periodieke trends een verbetering op in de voorspelling van het aantal doden, en een F-toets toont aan dat deze verbetering significant is op 1%-niveau.

### 3.5. Verenigde Staten

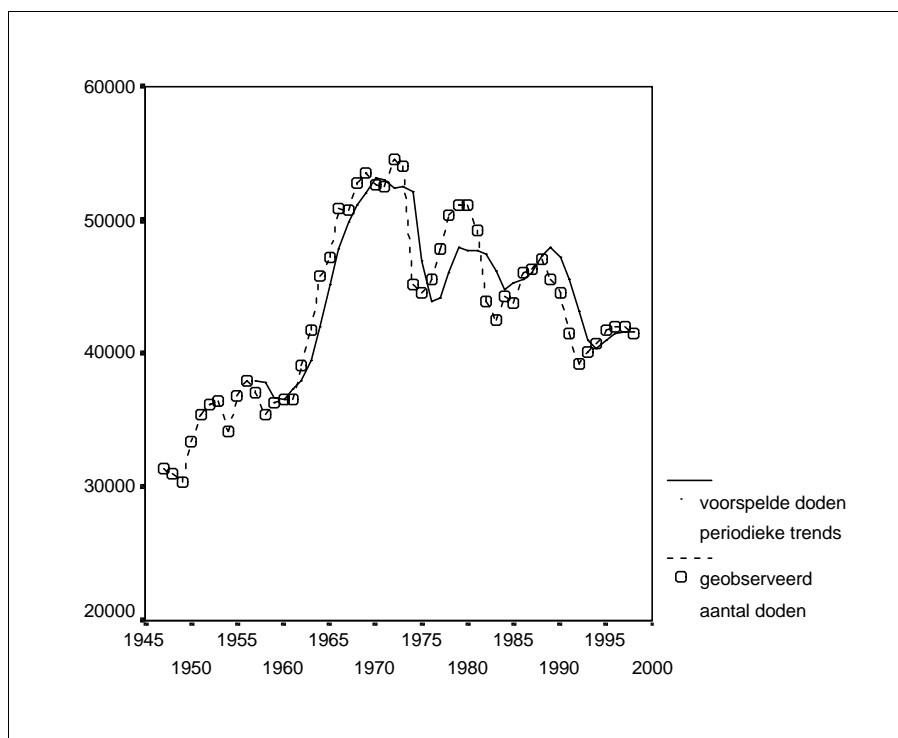
Analyse van de Amerikaanse jaarcijfers in de periode 1947-1998 van het aantal verreden motorvoertuigkilometers (zie *Tabel E* in de *Bijlage*) met het Gompertz-model levert een schatting van de maximale mobiliteit op de lange termijn op van 12361 miljard mvt-km. Het product van de algemene trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in de Verenigde Staten geobserveerde aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 11*.





Afbeelding 11. Geobserveerde aantallen doden in de Verenigde Staten, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Bij deze jaarcijfers is er sprake van een positieve samenhang tussen de afwijkingen van de algemene trend in de mobiliteit en diezelfde afwijkingen één jaar later, en van een negatieve samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en die van 9 jaar later. Verder is er een positieve samenhang tussen de afwijkingen van de algemene trend in het risico en diezelfde afwijkingen één à twee jaar later, en een negatieve samenhang tussen de afwijkingen in de mobiliteit en de afwijkingen in het risico van 4 jaar later. Voegen we deze vier periodieke trends toe aan de voorspelling van de aantallen doden, dan ontstaat het in *Afbeelding 12* getoonde beeld.

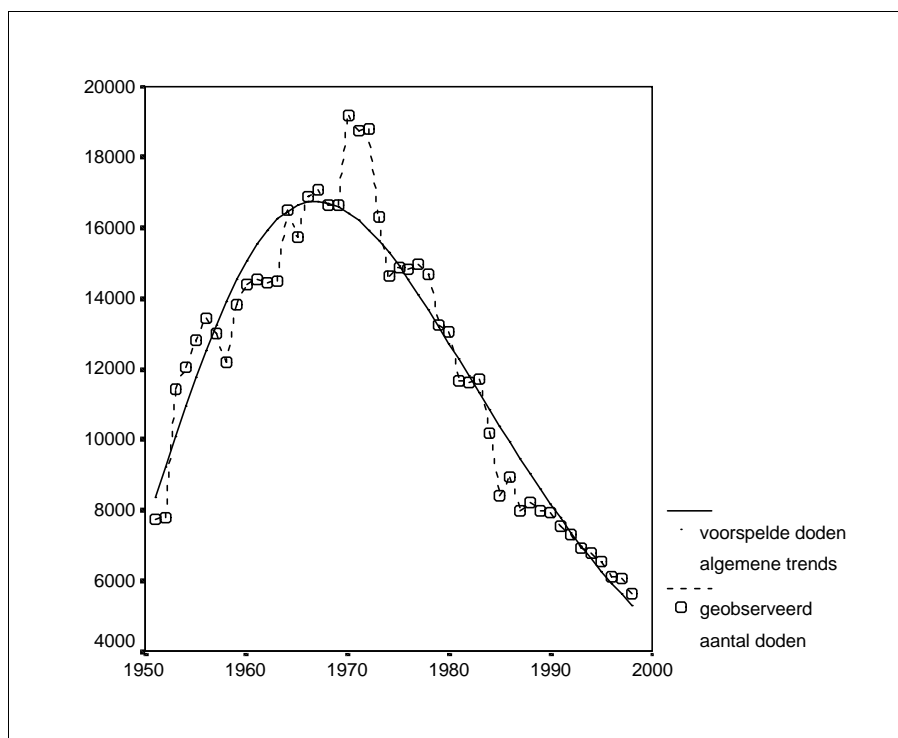


Afbeelding 12. Geobserveerde aantallen doden in de Verenigde Staten, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Het toevoegen van deze periodieke trends levert een verbetering op in de voorspelling van de geobserveerde jaarcijfers voor het aantal doden in de Verenigde Staten, en een F-toets laat zien dat deze verbetering significant is op 1%-niveau. Naast de hierboven vermelde 4 jaar vertraagde samenhang tussen de afwijkingen van de mobiliteit en het risico is er in de Verenigde Staten ook sprake van een 20 jaar vertraagde samenhang tussen deze afwijkingen. Vervangen we de korte cyclus van vier jaar door de veel langere cyclus van 20 jaar, dan vinden we een verbetering van de voorspelling van het aantal doden die significant is op 2,5%-niveau.

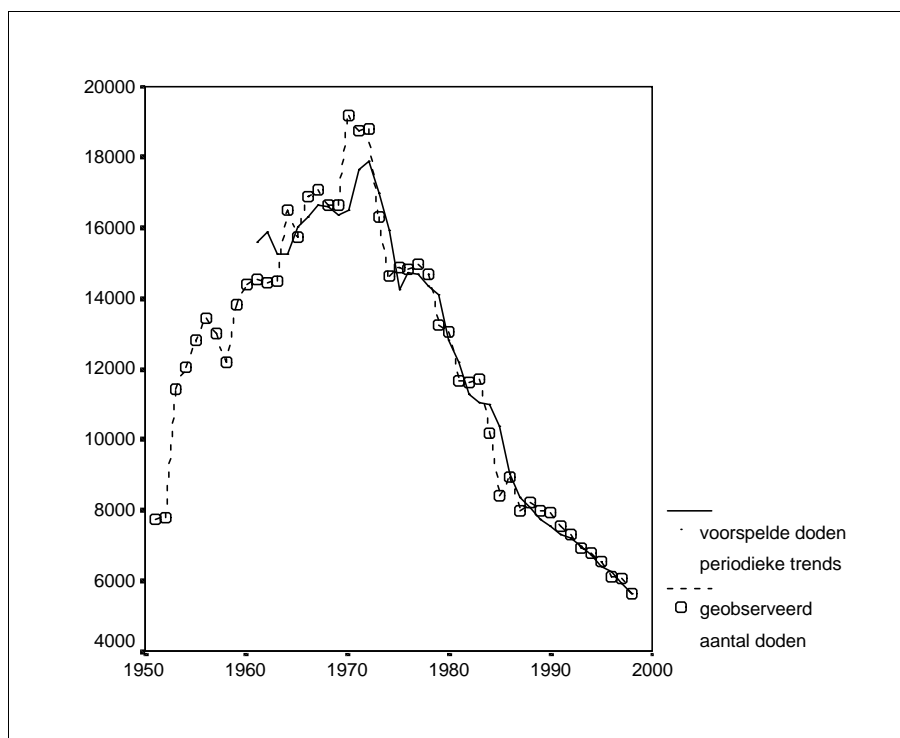
### 3.6. Voormalig West-Duitsland

Bij het fitten van het Gompertz-model op de jaarcijfers van voormalig West-Duitsland in de periode 1951-1998 van het aantal verreden motorvoertuigkilometers (zie *Tabel F* in de *Bijlage*) wordt de maximale mobiliteit van dit land op de lange termijn geschat op 624 miljard mvt-km. Het product van de algemene trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in voormalig West-Duitsland geobserveerde aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 13*.



Afbeelding 13. Geobserveerde aantallen doden in voormalig West-Duitsland, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Voor de West-Duitse situatie wordt een positieve samenhang gevonden tussen de afwijkingen van de mobiliteit en diezelfde afwijkingen van één jaar later, en een negatieve samenhang tussen deze afwijkingen en die van 9 jaar later. Verder is er een positieve samenhang tussen de afwijkingen van het risico en die van één à twee jaar later, en een eveneens positieve samenhang tussen de afwijkingen van het risico en die van de mobiliteit 6 jaar later. *Afbeelding 14* laat de verbetering zien die wordt verkregen door deze vier periodieke trends aan de voorspelling van het aantal doden toe te voegen.

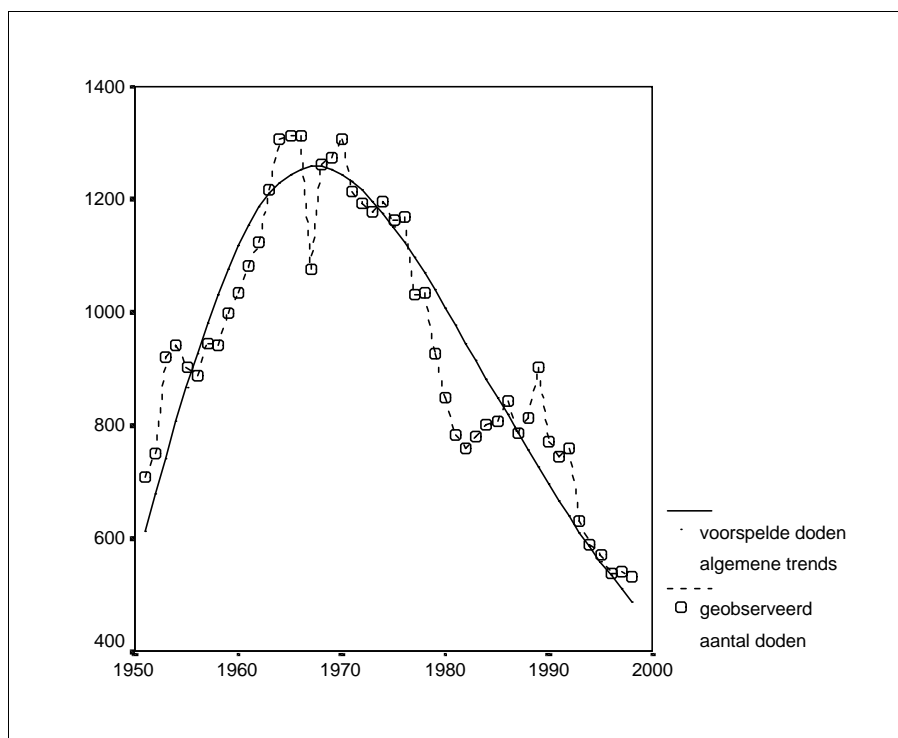


Afbeelding 14. Geobserveerde aantallen doden in voormalig West-Duitsland, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Het toevoegen van de periodieke trends levert weliswaar een verbetering op in de voorspelling van het aantal doden in voormalig West-Duitsland, maar uit een F-toets blijkt dat deze verbetering niet significant is.

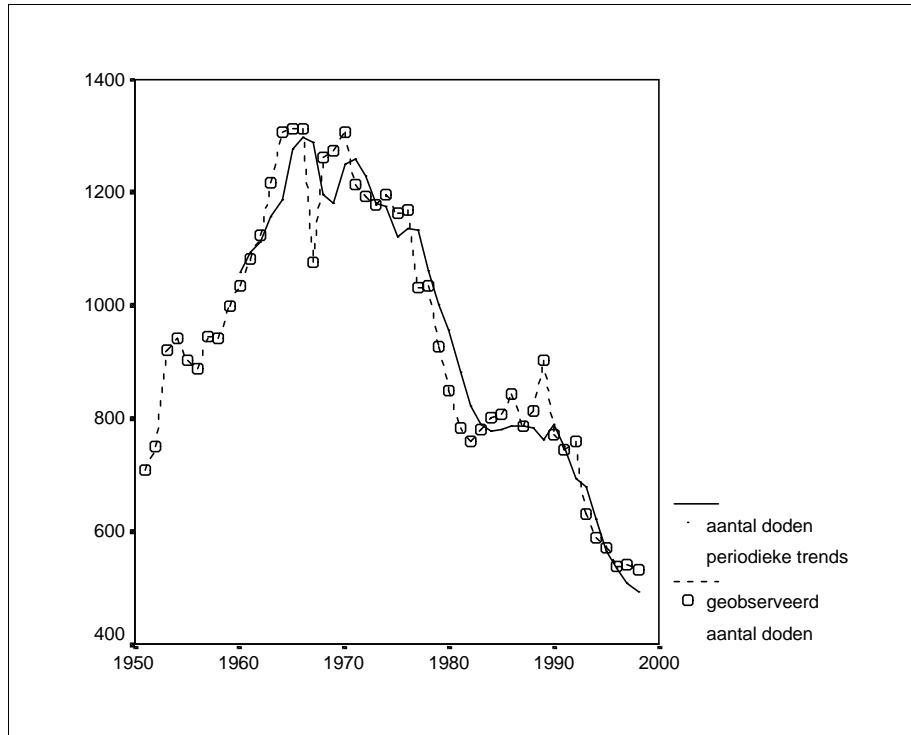
### 3.7. Zweden

Bij het fitten van het Gompertz-model op de jaarcijfers van Zweden in de periode 1951-1998 van het aantal verreden motorvoertuigkilometers (zie *Tabel G* in de *Bijlage*) wordt de maximale mobiliteit van dit land op de lange termijn geschat op 74 miljard mvt-km. Het product van de algemene trends in mobiliteit en fataal risico, dat gelijk is aan het voorspeld aantal doden, is samen met de in Zweden geobserveerde aantallen doden weergegeven in *Afbeelding 15*.



Afbeelding 15. Geobserveerde aantallen doden in Zweden, en voorspelde aantallen doden op grond van algemene mobiliteits- en risicotrends.

Bij het onderzoek naar periodieke trends in de Zweedse situatie blijkt er een negatieve samenhang te bestaan tussen de afwijkingen van de mobiliteit en diezelfde afwijkingen 8 à 9 jaar later. Tevens hangen de afwijkingen van de mobiliteit positief samen met diezelfde afwijkingen van één jaar later, en hangen de afwijkingen van het risico samen met de afwijkingen van het risico 1 à 2 jaar later. Ten slotte is er een negatieve vertraagde samenhang tussen de afwijkingen van het risico en die van de mobiliteit 6 jaar later. Toevoeging van deze vier periodieke trends aan de algemene Zweedse trends resulteert in de in *Afbeelding 16* getoonde voorspelling van het aantal doden in Zweden.



Afbeelding 16. Geobserveerde aantallen doden in Zweden, en voorspelde aantallen doden na toevoeging van periodieke trends.

Het toevoegen van de vier periodieke trends levert weliswaar een verbetering op in de voorspelling van het aantal doden in Zweden, maar uit een F-toets blijkt dat deze verbetering niet significant is.

## 4. Samenvatting en conclusies

Tabel 1 bevat een samenvatting van de resultaten van de analyses van de jaarcijfers van de mobiliteit en van het fatale risico in de zeven onderzochte landen met behulp van het Gompertz-model en van het exponentieel dalende model. Tevens zijn de in Commandeur & Koornstra (2001) besproken resultaten bijgevoegd van de analyses van de Nederlandse ontwikkelingen in de mobiliteit en het fatale risico.

	Onderzochte periode	Mobiliteitsparameters			Risico-parameters		$V_m / V_{1998}$
		$V_m$	$a$	$b$	$\alpha$	$\beta$	
België	1965-1998	219,4	-0,0273	54,39	-0,0628	128,19	2,60
Engeland	1949-1998	767,6	-0,0338	66,93	-0,0515	105,11	1,67
Frankrijk	1956-1999	791,7	-0,0427	84,38	-0,0514	105,51	1,45
Japan	1951-1995	121,1	-0,0574	113,66	-0,0965	194,54	1,71
Nederland	1948-1998	204,1	-0,0397	78,68	-0,0662	134,44	1,78
Verenigde Staten	1947-1998	1989,3	-0,0157	31,75	-0,0323	66,79	4,70
West-Duitsland	1951-1998	624,2	-0,0586	115,45	-0,0681	138,32	1,21
Zweden	1951-1998	74,3	0,0665	130,61	-0,0542	110,36	1,10

Tabel 1. Algemene trends in fataal risico en mobiliteit in acht ontwikkelde landen.

Voor de onderzochte perioden kan op grond van deze algemene trends worden geconcludeerd dat de groei van de mobiliteit in de Verenigde Staten het traagst verloopt ( $a = -0,0157$ ), terwijl de mobiliteit in Zweden de snelste toename vertoont ( $a = -0,0665$ ). Voor de overige onderzochte landen is de snelheid van de mobiliteitsgroei in oplopende volgorde: België, Engeland, Nederland, Frankrijk, Japan en voormalig West-Duitsland (zie Tabel 1).

Gelet op de ratio van de met het Gompertz-model geschatte maximale mobiliteit en van de geobserveerde mobiliteit in 1998 (laatste kolom in Tabel 1), blijkt dat de Zweedse mobiliteit nog slechts met tien procent zal groeien voor het zijn maximale mobiliteit zal hebben bereikt, terwijl de Verenigde Staten bijna een vervijfvoudiging van de mobiliteit te wachten staat.

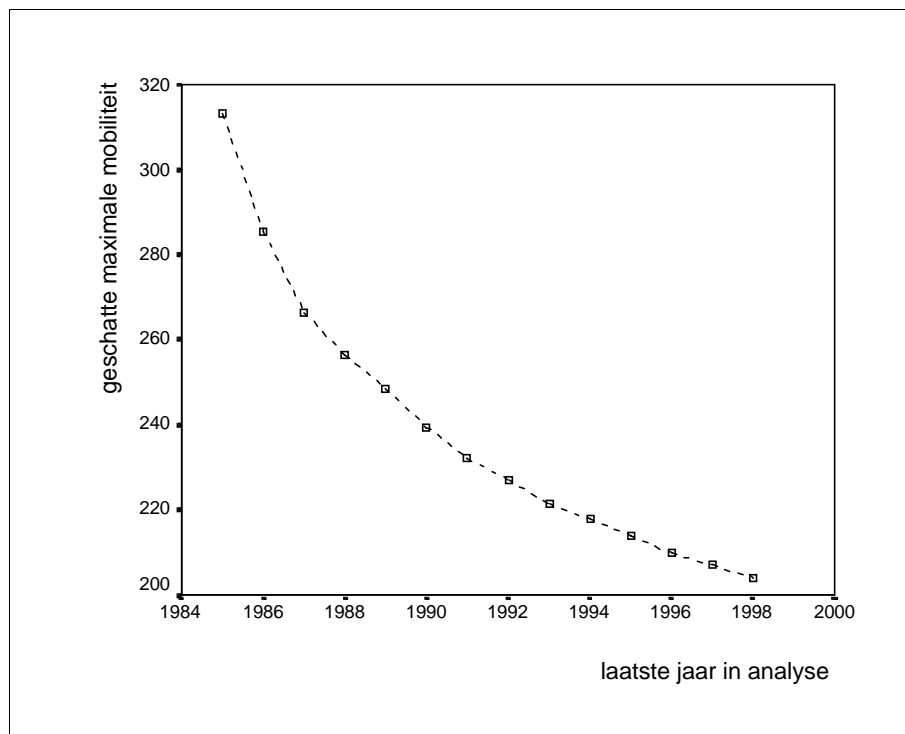
Hierbij dient aangetekend te worden dat de betrouwbaarheid van de geschatte waarde van deze parameter van het Gompertz-model sterk afhankelijk is van de lengte van de groeicurve waarover informatie voorhanden is: naarmate de gegeven tijdreeks dichter bij zijn maximale groei gevorderd is, naar die mate wordt dit maximum ook betrouwbaarder geschat.

Om dit te illustreren zijn de Nederlandse mobiliteitscijfers herhaaldelijk met het Gompertz-model geanalyseerd, eerst onder weglating van het laatste jaar uit de tijdreeks, vervolgens onder weglating van de laatste twee jaren,

en zo door tot onder weglating van de laatste 13 jaren uit de tijdreeks. De Gompertz-schattingen van de maximale Nederlandse mobiliteit voor de aldus steeds verder ingekorte tijdreeksen (1948-1998, 1948-1997, etc., tot en met 1948-1985) zijn weergegeven in *Afbeelding 17*.

Voor de Nederlandse situatie zien we dat naarmate er meer jaren aan het einde van de tijdreeks worden verwijderd de maximale mobiliteit steeds sterker wordt overschat. Voor de reeks 1948-1985 wordt de eindwaarde van de groei nog geschat op 313,1 miljard motorvoertuigkilometers (een groei van ruim 250% ten opzichte van de mobiliteit in 1998), terwijl dit voor de reeks 1948-1998 nog maar 204,1 miljard motorvoertuigkilometers is (een groei van nog maar 78% ten opzichte van de mobiliteit in 1998). Verder wordt uit *Afbeelding 17* duidelijk dat het geschatte maximum van de mobiliteit steeds meer stabiliseert naarmate de geanalyseerde tijdreeks afvlakt naar zijn maximale waarde.

Deze problemen ten aanzien van de betrouwbaarheid van de geschatte waarde van deze parameter liggen ten grondslag aan de onwaarschijnlijke schattingen die gevonden worden voor de Verenigde Staten en voor Zweden (zie *Tabel 1*). Voor de Verenigde Staten is de schatting onwaarschijnlijk hoog (een langetermijngroei van 470% ten opzichte van 1998), voor Zweden juist onwaarschijnlijk laag (eenlangetermijngroei van slechts 10% t.o.v. 1998). Dit zou ervoor pleiten om de plafondwaarde van de Gompertz-groecurve per land te baseren op grond van extern verkregen langetermijnschattingen van deze plafondwaarde, en de waarde van deze parameter bij het fitten van het Gompertz-model vervolgens niet modelmatig te schatten maar als gegeven te veronderstellen.



*Afbeelding 17. Geschatte Gompertz-waarden van de maximale Nederlandse mobiliteit bij tijdreeksen 1948-1985 tot en met 1948-1998.*



Vergelijken we de verschillende landen wat betreft hun ontwikkeling in fataal risico (zie *Tabel 1*), dan zien we dat voor de in dit rapport onderzochte perioden de snelheid waarmee het fatale risico daalt eveneens het laagst is in de Verenigde Staten ( $\alpha = -0,0323$ ), gevolgd door Frankrijk, Engeland, Zweden, België, Nederland, voormalig West-Duitsland en Japan, alwaar het fatale risico de snelste daling vertoont ( $\alpha = -0,0965$ ).

In *Tabellen 2* en *3* worden de resultaten van het onderzoek naar periodieke trends in de zeven ontwikkelde landen samengevat, samen met de in Commandeur & Koornstra (2001) besproken resultaten voor de Nederlandse situatie.

	Onderzochte periode	Samenhang risico- en mobiliteitsafwijkingen	Aard samenhang	Significantie verbetering voorspelling aantal doden
België	1965-1998	6 à 7 jaar	negatief	NS
Engeland	1949-1998	11 jaar	positief	$p < 0,01$
Frankrijk	1956-1999	7 jaar	negatief	$p < 0,025$
Japan	1951-1995	19 jaar	positief	$p < 0,01$
Nederland	1948-1998	10 à 11 jaar	negatief	$p < 0,01$
Verenigde Staten	1947-1998	4 jaar of 20 jaar	negatief	$p < 0,01$
West-Duitsland	1951-1998	6 jaar	positief	$p < 0,05$
Zweden	1951-1998	6 jaar	negatief	NS

Tabel 2. *Samenhang tussen afwijkingen in fataal risico en mobiliteit in acht ontwikkelde landen.*

*Tabel 2* bevat de resultaten van het onderzoek naar de eventuele samenhang tussen afwijkingen van het risico en vertraagde afwijkingen in de mobiliteit. Uit deze tabel blijkt dat de aard van deze samenhang en de duur van de vertraging voor de onderzochte landen heel divers is. Niet alleen loopt de duur van de vertraging sterk uiteen (van 4 jaar voor de Verenigde Staten, of 6 jaar voor voormalig West-Duitsland, tot 19 jaar voor Japan), nog belangrijker is dat de aard van de samenhang soms negatief (België, Frankrijk, Nederland, de Verenigde Staten en Zweden), soms positief (Engeland, Japan en voormalig West-Duitsland) blijkt te zijn. Bovendien leidt de toevoeging van een vertraagde afwijking in de mobiliteit aan de voorspelling van het risico noch in België noch in Zweden tot een significante verbetering van de reeds met het exponentieel dalende model verkregen voorspelling van het risico.

Dit ondergraaft op zijn minst het idee dat een versterkte groei van de mobiliteit te allen tijde en overal enige jaren later samenhangt met een versterkte afname van het risico. Voor Engeland, Japan en voormalig West-Duitsland geldt immers juist het omgekeerde: in deze landen blijkt een versnelde mobiliteitsgroei respectievelijk 11, 19 en 6 jaar later juist samen te hangen met een versterkte toename van het risico, terwijl een vertraagde mobiliteitsgroei respectievelijk 11, 19 en 6 jaar later samenhangt met een versterkte afname van het risico. In deze drie landen gaat het mechanisme dus blijkaar niet op dat een versnelde mobiliteitsgroei leidt tot een intensivering van veiligheidsmaatregelen die enige tijd vergen om te

worden uitgevoerd, waardoor het risico na diezelfde tijd versneld gaat afnemen.

Zoals uit *Tabel 3* blijkt, vertoont de in Nederland geconstateerde autoregressieve samenhang binnen de mobiliteit in ieder geval wat meer consistentie in de acht ontwikkelde landen. Al loopt ook hier de duur van de vertraagde samenhang uiteen van 7 jaar voor België tot 15 jaar voor Nederland; de aard ervan is in ieder geval steeds negatief. Met uitzondering van Zweden leidt toevoeging van de gevonden periodieke mobiliteitstrends aan de algemene Gompertz-trend bovendien in alle onderzochte landen tot een significante verbetering van de voorspelling van de geobserveerde jaarcijfers voor de mobiliteit.

Een mogelijke verklaring voor de geconstateerde autoregressieve samenhang in de mobiliteit is dat de ontwikkeling van de mobiliteit -al dan niet vertraagd- samenhangt met periodieke trends in de ontwikkeling van de nationale economie.

	Onderzochte periode	Autoregressieve samenhang mobiliteit	Aard samenhang	Significantie verbetering voorspelling mobiliteit	Significantie gezamenlijke verbetering voorspelling aantal doden
België	1965-1998	7 jaar	negatief	$p < 0,01$	NS
Engeland	1949-1998	12 à 13 jaar	negatief	$p < 0,01$	NS
Frankrijk	1956-1999	11 jaar	negatief	$p < 0,01$	$p < 0,01$
Japan	1951-1995	12 jaar	negatief	$p < 0,01$	$p < 0,01$
Nederland	1948-1998	15 jaar	negatief	$p < 0,01$	$p < 0,01$
Verenigde Staten	1947-1998	9 jaar	negatief	$p < 0,01$	<sup>1)</sup> $p < 0,01$ ; <sup>2)</sup> $p < 0,025$
West-Duitsland	1951-1998	9 jaar	negatief	$p < 0,05$	NS
Zweden	1950-1998	8 à 9 jaar	negatief	NS	NS

1) 4 jaar vertraagde samenhang tussen risico en mobiliteit (zie *Tabel 2*).

2) 20 jaar vertraagde samenhang tussen risico en mobiliteit (zie *Tabel 2*).

*Tabel 3. Autoregressieve samenhang binnen de mobiliteit in acht ontwikkelde landen, en de totale verbetering van de voorspelling van het aantal doden na toevoeging van vier periodieke trends.*

De laatste kolom van *Tabel 3* toont ten slotte het resultaat van de toets voor de verbetering in de voorspelling van het aantal doden op grond van de gecombineerde algemene en periodieke trends ten opzichte van de algemene trends. Uit deze toets blijkt dat deze verbetering niet significant is voor de helft van de onderzochte landen, namelijk voor België, Engeland, voormalig West-Duitsland en Zweden.

Samenvattend wordt in de in dit rapport onderzochte ontwikkelde landen geen algemene ondersteuning gevonden voor de in Commandeur & Koornstra (2001) voor Nederland geconstateerde negatieve samenhang tussen de afwijkingen van de algemene trend in het fatale risico en de 10 à 11 jaar vertraagde afwijkingen van de algemene trend in de mobiliteit. Dit sluit natuurlijk niet uit dat de in de inleiding gegeven verklaring voor deze

samenhang (intensivering van veiligheidsmaatregelen die echter ongeveer 11 jaar kosten om te worden gerealiseerd) voor een aantal landen, waaronder Nederland, wel degelijk opgaat. Het is echter geen universeel mechanisme. Bovendien is deze verklaring vooralsnog niet meer dan een hypothese, die nog getoetst zou moeten worden door het effect van maatregelen op de mobiliteit en het fatale risico daadwerkelijk te onderzoeken.

De voor Nederland gevonden periodieke trend binnen de mobiliteit is daarentegen mogelijk wel algemener van aard, al vertonen de onderzochte landen een aanzienlijke variatie wat betreft de tijdsspanne van de periodiciteit van deze trend. Indien de periodieke mobiliteitstrend gekoppeld is aan de economische ontwikkelingen van een land, dan zouden deze verschillen in tijdsspanne van de periodiciteit mogelijk verklaard kunnen worden door nationale verschillen in de ontwikkeling van de economie. Ten slotte blijkt de toevoeging van deze gezamenlijke periodieke trends aan de met het Gompertz- en exponentieel dalende model verkregen algemene trends slechts in de helft van de onderzochte landen te leiden tot een significante verbetering van de voorspelling van de ontwikkeling in het aantal verkeersdoden.

## 5. Hoe nu verder?

In dit rapport zijn, evenals in Commandeur & Koornstra (2001), ontwikkelingen in de mobiliteit apart gemodelleerd met het Gompertz-model, dat mobiliteitsontwikkelingen opvat als een groeiproces met een asymmetrische S-vormige curve. Ontwikkelingen in fataal risico zijn apart gemodelleerd met het exponentieel dalende model. Met dit laatste model worden ontwikkelingen in fataal risico beschouwd als een leerproces waarbij het verkeersproces in de loop van de tijd steeds minder fouten (in dit geval: doden) maakt.

Zoals in Commandeur & Koornstra (2001) wordt besproken zijn deze modellen deterministisch van aard: voor meetfouten is er in deze modellen in principe geen plaats. Hoewel de modellen de geobserveerde jaarcijfers van verschillende landen redelijk goed beschrijven, blijken er echter steeds systematische afwijkingen (of: schendingen van de modellen) op te treden. Een probleem bij deterministische modellen is dat het lastig te bepalen is bij hoeveel schendingen van het model nog geconcludeerd mag worden dat het model geen juiste beschrijving meer van de gegevens vormt: het is niet mogelijk om dit statistisch te toetsen.

Indien een deterministisch model te veel afwijkingen vertoont van de observaties, dan zijn er in het algemeen drie manieren om hiermee om te gaan (zie bijvoorbeeld Meerling, p. 143, 1995):

1. de afwijkingen voor lief nemen en het model toch handhaven als bij benadering juist;
2. aan het model meer parameters toevoegen teneinde de afwijkingen te reduceren;
3. het deterministische model verwerpen ten gunste van een probabilistisch model.

In Commandeur & Koornstra (2001) en in het huidige rapport is onderzocht in hoeverre het mogelijk is om de afwijkingen van het Gompertz-model en het exponentieel dalende model (en hiermee indirect van het aantal doden) terug te brengen door de introductie van periodieke trends. Aangezien hierbij aan beide modellen twee extra parameters worden toegevoegd, valt deze aanpak onder de tweede van bovengenoemde opties.

Uit dit rapport blijkt echter dat het middels periodieke trends toevoegen van extra parameters aan de twee modellen in de onderzochte landen niet tot eensluidende conclusies leidt. In een aantal landen leidt toevoeging van periodieke trends niet tot een significante reductie in de afwijkingen van de voorspelling van de geobserveerde aantallen doden. In die landen waar wel significante vooruitgang wordt geboekt, is bovendien niet geheel duidelijk hoe deze extra parameters inhoudelijk moeten worden geïnterpreteerd. Het Gompertz- en het exponentieel dalende model kunnen tevens worden gebruikt om prognoses te doen over de te verwachten aantallen doden op de langere termijn (zie Commandeur & Koornstra, 2001). Deze prognoses kunnen zowel worden gebaseerd op de met deze modellen gemodelleerde ontwikkelingen, als op diezelfde ontwikkelingen na toevoeging van periodieke trends. Als we deze twee typen prognoses echter met elkaar vergelijken dan blijkt het verschil met name op de langere termijn heel gering te zijn. Ter illustratie: in Nederland, waar toevoeging van periodieke trends tot een zeer significante verbetering van de voorspelling van het geobserveerd aantal doden leidt, wordt -afhankelijk van het al dan niet

toevoegen van periodieke trends- voor het jaar 2010 een aantal doden gelijk aan 620 dan wel 612 geprognoseerd. Dit is slechts een verschil van ruim één procent.

Dit alles pleit ervoor om óf vooralsnog terug te vallen op de eerste van bovengenoemde opties (het Gompertz-en het exponentieel dalende model handhaven als bij benadering juist), óf om de derde weg in te slaan, en probabilistische modellen te gaan gebruiken om de macroscopische ontwikkelingen in de verkeersveiligheid te modelleren.

De voordelen van het gebruik van probabilistische modellen zijn:

- Aangezien probabilistische modellen a priori uitgaan van meetfouten wordt het mogelijk om verdelingsaannamen op te leggen aan deze meetfouten, en om statistisch te toetsen of het model bij de gegevens past.
- Met dit soort modellen kunnen de ontwikkelingen in de drie onderzochte variabelen (aantallen doden, fataal risico en mobiliteit) in één model worden geanalyseerd.
- In een probabilistisch model kan de ontwikkeling in de mobiliteit nog steeds worden gemodelleerd middels een Gompertz-groeiproces, en de ontwikkeling in het risico nog steeds worden gemodelleerd middels een exponentieel dalend leerproces. Dit is met name van belang wanneer we de ontwikkelingen uit het verleden op een theoretisch onderbouwde manier door willen trekken naar de toekomst. Bovendien kunnen aldus met een probabilistisch model geprognoseerde jaarcijfers worden voorzien van waarschijnlijkheidsmarges in de vorm van betrouwbaarheidsintervallen.

Deze argumenten pleiten ervoor om probabilistische modellen aan te wenden indien macroscopische ontwikkelingen in de verkeersveiligheid in de toekomst verder worden onderzocht. Tot die tijd is de meest aangewezen weg om deze ontwikkelingen te modelleren met de deterministische Gompertz-en exponentieel dalende modellen, zonder verder gebruik te maken van periodieke trends.

## Literatuur

Commandeur, J.J.F. & Koornstra, M.J. (2001). *Prognoses voor de verkeersveiligheid in 2010*. R-2001-9, SWOV, Leidschendam.

Koornstra, M.J. (1987). *Ridendo dicere verum (Telling the truth with a smile)*. R-87-35. SWOV, Leidschendam.

Koornstra, M.J. (1988). *Development of road safety in some European countries and the USA: a theoretical and quantitative mathematical analysis*. Paper presented to the Conference 'Road Safety in Europe', Gothenburg, Sweden, 12-14 October, 1988. R-88-33. SWOV, Leidschendam.

Meerling (1995). *Methoden en technieken van psychologisch onderzoek. Deel 2: Data-analyse en psychometrie*. Boom, Meppel .

Oppe, S. (1989). *Macroscopic models for traffic and traffic safety*. Accident Analysis and Prevention, Vol.21, no. 3, pp. 225-232.

Oppe, S. (1991a). *The development of traffic and traffic safety in six developed countries*. Accident Analysis and Prevention, Vol. 23, no. 5, pp. 401-412.

Oppe, S. (1991b). *Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations*. Accident Analysis and Prevention, Vol. 23, no. 5, pp. 413-422.

Oppe, S., Koornstra, M.J. & Roszbach, R. (1988). *Macroscopic models for traffic and traffic safety: three related approaches from SWOV*. In: Traffic safety theory and research methods, Amsterdam, The Netherlands, April 26-28. SWOV. Leidschendam.

## Bijlage

Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1965	21,2	2441	1982	50,4	2046
1966	22,9	2414	1983	50,9	2090
1967	25,2	2622	1984	52,7	1893
1968	27,1	2736	1985	53,6	1801
1969	28,4	2793	1986	57,4	1951
1970	29,4	3070	1987	60,3	1922
1971	30,8	3082	1988	64,6	1967
1972	32,7	3101	1989	68,5	1993
1973	34,7	2915	1990	70,3	1976
1974	37,1	2665	1991	73,7	1873
1975	38	2346	1992	75,2	1672
1976	40	2488	1993	76,6	1660
1977	42,6	2522	1994	79,3	1692
1978	46,8	2589	1995	80,1	1449
1979	47,4	2326	1996	81,2	1356
1980	48	2396	1997	82,6	1364
1981	48,8	2216	1998	84,4	1500

Tabel A. Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in België.

Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1949	46,5	4773	1974	230	6883
1950	53	5012	1975	232	6366
1951	59,1	5250	1976	243,8	6570
1952	60,9	4706	1977	247,2	6614
1953	65,1	5090	1978	256,9	6831
1954	69,8	5010	1979	256,4	6352
1955	77,2	5526	1980	271,9	6010
1956	80,9	5367	1981	276,9	5846
1957	80,5	5550	1982	284,5	5934
1958	93	5970	1983	288,1	5445
1959	104,2	6520	1984	303,1	5599
1960	112,5	6970	1985	309,7	5165
1961	122,3	6908	1986	325,3	5382
1962	128,4	6709	1987	350,5	5125
1963	136,3	6922	1988	375,7	5052
1964	152,5	7820	1989	406,9	5373
1965	162,8	7952	1990	410,8	5217
1966	173	7985	1991	411,6	4568
1967	180,4	7319	1992	412,1	4229
1968	187,9	6810	1993	412,2	3814
1969	193	7365	1994	422,6	3650
1970	200,4	7499	1995	430,9	3621
1971	212,1	7699	1996	442,5	3598
1972	222,8	7763	1997	452,5	3599
1973	234	7406	1998	459,4	3421

Tabel B. *Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in Engeland.*



Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1956	72,7	9028	1978	302	13033
1957	76	9284	1979	311	13295
1958	81	8857	1980	330	13499
1959	87	9166	1981	343	13029
1960	94	9042	1982	343	13113
1961	101	9963	1983	351	12728
1962	109	10822	1984	365	12562
1963	120	10929	1985	374	11387
1964	131	12104	1986	392	11947
1965	142	13244	1987	402	10742
1966	155	13252	1988	414	11497
1967	168	14808	1989	422	11476
1968	179	15559	1990	434	11215
1969	191	15984	1991	457	10483
1970	207	16397	1992	462	9900
1971	221	17506	1993	471	9568
1972	238	18034	1994	487	9019
1973	256	16861	1995	496	8891
1974	264	14526	1996	503	8541
1975	271	14166	1997	514	8444
1976	278	14799	1998	531	8981
1977	289	14127	1999	545	8487

Tabel C. Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in Frankrijk.

Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1951	5,5	4429	1974	293,1	11432
1952	7,4	4696	1975	314,9	10792
1953	9,8	5544	1976	340,6	9734
1954	11	6374	1977	376,5	8945
1955	13,2	6379	1978	397,4	8783
1956	15,3	6751	1979	420,2	8466
1957	18,4	7575	1980	428	8760
1958	21,1	8248	1981	444,1	8719
1959	23,6	10079	1982	451,2	9073
1960	31	12055	1983	465,2	9520
1961	39	12865	1984	478,1	9262
1962	47,4	11445	1985	514,3	9261
1963	61,9	12301	1986	536,9	9317
1964	77,3	13318	1987	548,8	9347
1965	90,4	12484	1988	575,6	10344
1966	115,1	13904	1989	600,2	11086
1967	145,4	13618	1990	628,6	11227
1968	179,7	14256	1991	657,3	11105
1969	212,9	16257	1992	678,2	11451
1970	248,6	16765	1993	683,8	10942
1971	267,8	16278	1994	694,3	10649
1972	285,5	15918	1995	706,6	10679
1973	303,8	14574			

Tabel D. Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in Japan.

Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1947	597,1	31374	1973	2113	54052
1948	640,5	30953	1974	2061,5	45196
1949	682,3	30418	1975	2137,2	44525
1950	737,1	33356	1976	2256,2	45523
1951	790,2	35499	1977	2360,8	47878
1952	827,2	36264	1978	2486,4	50331
1953	875,5	36419	1979	2460,6	51093
1954	904,4	34146	1980	2457,4	51091
1955	975,2	36871	1981	2499,2	49301
1956	1015,5	38024	1982	2566,8	43945
1957	1041,2	37135	1983	2660,2	42589
1958	1070,2	35484	1984	2768	44257
1959	1126,5	36376	1985	2854,9	43825
1960	1157,1	36594	1986	2953,1	46087
1961	1187,7	36549	1987	3091,5	46390
1962	1234,3	39152	1988	3260,4	47087
1963	1295,5	41801	1989	3373,1	45582
1964	1363,1	45769	1990	3450,3	44599
1965	1429,1	47173	1991	3495,4	41508
1966	1490,2	50894	1992	3616,1	39250
1967	1551,4	50724	1993	3695	40150
1968	1635	52725	1994	3794,7	40716
1969	1709,1	53543	1995	3899,3	41817
1970	1786,3	52627	1996	4000,7	42065
1971	1897,4	52542	1997	4119,8	41967
1972	2027,7	54589	1998	4232,5	41480

Tabel E. *Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in de Verenigde Staten.*

Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1951	31	7760	1975	302,1	14870
1952	37,5	7775	1976	317,1	14820
1953	48,2	11449	1977	330,8	14978
1954	56	12071	1978	347,7	14662
1955	64,7	12791	1979	361,2	13222
1956	73,4	13427	1980	368	13041
1957	78,6	13004	1981	349,8	11674
1958	88,7	12169	1982	361,5	11608
1959	98,7	13822	1983	373,1	11732
1960	110,1	14406	1984	384,8	10199
1961	122,6	14543	1985	384,5	8400
1962	134,1	14445	1986	412,1	8948
1963	144,6	14513	1987	436	7967
1964	161,1	16494	1988	459,7	8213
1965	174,1	15753	1989	469,3	7995
1966	190,3	16868	1990	488,5	7906
1967	194,7	17084	1991	502,5	7541
1968	202,2	16636	1992	507,2	7298
1969	216,3	16646	1993	505,7	6926
1970	250,8	19193	1994	496,8	6800
1971	267,4	18753	1995	501,3	6526
1972	275,6	18811	1996	505,2	6126
1973	288	16302	1997	510,9	6067
1974	283,2	14614	1998	516,6	5614

Tabel F. Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in voormalig West-Duitsland.

Jaar	Mobiliteit	Doden	Jaar	Mobiliteit	Doden
1951	6,4	708	1975	43,3	1162
1952	7,3	750	1976	46,7	1168
1953	8,6	921	1977	49	1031
1954	10,3	942	1978	50,3	1034
1955	11,7	902	1979	51,2	926
1956	13,1	889	1980	51,6	848
1957	15,1	946	1981	51,2	784
1958	16,8	941	1982	51,9	758
1959	18,7	1000	1983	52,7	779
1960	20,4	1036	1984	53,2	801
1961	21,5	1084	1985	54,9	808
1962	23,4	1124	1986	55,3	844
1963	24,2	1217	1987	58,6	787
1964	26,8	1308	1988	61,8	813
1965	29,3	1313	1989	65,1	904
1966	31,2	1313	1990	64,3	772
1967	32,4	1077	1991	64,9	745
1968	33,7	1262	1992	65,5	759
1969	35,3	1275	1993	64,1	632
1970	37,1	1307	1994	64,9	589
1971	38,9	1213	1995	66,1	572
1972	40,7	1194	1996	66,5	537
1973	44,8	1177	1997	66,7	541
1974	42,6	1197	1998	67,4	531

Tabel G. *Gehanteerde jaarcijfers voor mobiliteit en aantallen doden in Zweden*

