

WORKING P A P E R

Reliability Ratio's voor het Goederenvervoer

Eindrapport

MARCO KOUWENHOVEN, GERARD DE JONG,
PIET RIETVELD

WR-274-AVV

June 2005

Rapport voor Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer

This product is part of the RAND Europe working paper series. RAND working papers are intended to share researchers' latest findings and to solicit additional peer review. This paper has been peer reviewed but not edited. Unless otherwise indicated, working papers can be quoted and cited without permission of the author, provided the source is clearly referred to as a working paper. RAND's publications do not necessarily reflect the opinions of its research clients and sponsors. **RAND®** is a registered trademark.

Voorwoord

Het doel van dit project is om reliability ratio's (de waardering van betrouwbaarheid van reistijd ten opzichte van de waardering van reistijd) voor het goederenvervoer te ontwikkelen. Deze reliability ratio's kunnen worden gebruikt voor het bepalen van de monetaire waardering van betrouwbaarheid van reistijden in kosten-batenanalyses volgens de leidraad OEI (Overzicht Effecten Infrastructuur). Uit eerder onderzoek zijn wel waarderingen voor betrouwbaarheid in het goederenvervoer verkregen, maar deze zijn niet uitgedrukt in reliability ratio's, zoals in het personenverkeer en –vervoer gebruikelijk is.

De ontwikkelde methodiek zet betrouwbaarheid uitgedrukt als 'percentage niet op tijd afgeleverd' om naar een reliability ratio waarbinnen betrouwbaarheid wordt uitgedrukt als de 'standaarddeviatie van de reistijd'. De methode is toegepast voor het goederenvervoer per weg, railvervoer, luchtvaart, binnenvaart en zeevaart. Dit rapport beschrijft zowel de ontwikkelde methodiek als de uitkomsten.

Het project is uitgevoerd door Marco Kouwenhoven en Gerard de Jong van RAND Europe en Piet Rietveld van de Vrije Universiteit Amsterdam, in opdracht van Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV).

Dit rapport heeft de kwaliteitscontrole doorlopen volgens de richtlijnen van RAND Corporation (zie <http://www.rand.org/about/standards>) en kan daarom beschouwd worden als een RAND Europe product.

Voor meer informatie over dit project kunt u contact opnemen met:

RAND Europe
Prof. Dr. G.C. de Jong
Newtonweg 1
2333 CP LEIDEN
071 524 51 51
jong@rand.org

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer
drs. P.M. Wortelboer-van Donselaar
Postbus 1031
3000 BA ROTTERDAM
010 282 56 95
p.wortelboer@avv.rws.minvenw.nl

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	iii
Samenvatting	vii
Summary.....	ix
HOOFDSTUK 1 Introductie	1
1.1 Achtergrond.....	1
1.2 Reistijdwaardering in het goederenvervoer	2
1.2.1 Resultaten	2
1.2.2 Directe waarderingsmethode	4
1.2.3 Relatie met de waarderingsmethode op basis van reliability ratio's	5
HOOFDSTUK 2 Reliability Ratio voor het Wegvervoer.....	7
2.1 Theorie	7
2.2 Wegvervoer	7
2.2.1 Verhouding coëfficiënten δ^* / β^*	8
2.2.2 Verhouding reistijd en standaarddeviatie aankomsttijd verdeling	8
2.2.3 Verhouding procentuele verbetering P en σ	9
2.3 Extreme situaties	10
2.4 Reliability ratio voor het wegvervoer	11
2.5 Alternatieve methodes	12
HOOFDSTUK 3 Reliability Ratio voor Alle Modaliteiten	13
3.1 Berekening verhoudingen.....	13
3.1.1 Verhouding coëfficiënten δ^* / β^*	13
3.1.2 Verhouding reistijd en standaarddeviatie aankomsttijd verdeling	14
3.1.3 Verhouding procentuele verbetering P en σ	14
3.2 Reliability ratio's	14
3.2.1 Wegvervoer	14
3.2.2 Overige modaliteiten.....	16
HOOFDSTUK 4 Conclusie	17
APPENDICES	19
Appendix A: Alternatieve Methodes	21
Appendix B: Extra Tabellen uit Hoofdonderzoek	25

Samenvatting

In de toekomst zal bij de beoordeling van mogelijke investeringen in infrastructuur in toenemende mate ook de verwachte verandering van de betrouwbaarheid van reistijden meegenomen worden bij de kosten-baten analyses (KBA). Om dergelijke afwegingen mogelijk te maken is het noodzakelijk om een goed gedefinieerde maat te hebben voor de omvang van de betrouwbaarheid, die eenvoudig om te zetten is naar een waardering in monetaire eenheden.

Vanwege de internationale standaard¹ en vanwege de vereiste input voor LMS-BT (een instrument om betrouwbaarheidsprognoses mee te doen) verkiest Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer om reliability ratio's te gebruiken in haar standaard waarderingmethode voor betrouwbaarheidsverbeteringen. Voor het personenvervoer zijn indicatieve waarden voor de reliability ratio reeds vastgelegd. Dit onderzoek poogt een indicatie te geven voor deze ratio's voor het goederenvervoer op basis van eerder gedaan onderzoek naar reistijdwaardering in het goederenvervoer.

Gebleken is dat de resultaten van dit eerdere onderzoek niet rechtstreeks te gebruiken zijn voor het berekenen van een reliability ratio. Dit werd veroorzaakt doordat in dit eerdere onderzoek niet nader ingegaan is op de buffertijd die vervoerders hanteren en de eventuele relatie met het tijdsvenster waarbinnen een levering als "op tijd" geldt. Hierdoor moest in dit project een aanname gedaan worden over de verhouding tussen de reistijd en de standaarddeviatie van de aankomsttijden. Deze verhouding kon geschat worden op basis van een ander onderzoek, maar deze schatting is slechts een benadering van de werkelijke verhouding.

Daarnaast moest een aanname gedaan worden over hoe vervoerders reageren op een verbeterde betrouwbaarheid: houden ze hun buffertijd constant, of zullen ze iets later vertrekken zodanig dat hun kans om "op tijd" te komen constant blijft. Hierover is ook niets bekend vanuit het hoofdonderzoek en dit vormt een tweede aanname die gedaan moest worden om tot een reliability ratio te komen.

Als aangenomen wordt dat de verhouding tussen vervoerders die hun buffertijd constant houden en vervoerders die hun kans om "op tijd" te komen constant houden 50%-50% is,

¹ Over deze standaard is gesproken tijdens een internationale expertsessie (gehouden in Nederland, oktober 2004), zie ook "The value of reliability in transport: provisional values for The Netherlands based on expert opinion", RAND Europe, concept rapport TR-240-AVV voor AVV, 2005

dan leidt dit tot een reliability ratio voor het wegvervoer van 1.2. Deze ratio is sterk afhankelijk van de aannames die gedaan zijn, maar is wel bruikbaar als voorlopige waarde.

De reliability ratio voor de overige vervoersmodaliteiten is lastiger te bepalen aangezien er geen onderzoek bekend is op basis waarvan er een schatting gemaakt kan worden van de verhouding tussen de reistijd en de standaarddeviatie van de aankomsttijden. Wel is het mogelijk om met een rechtstreekse methode waarderings te bepalen voor verbetering van de betrouwbaarheid, echter deze methode maakt geen gebruik van reliability ratio's. Daarnaast zijn verschillende aannames voor de genoemde verhouding doorgekend.

Er zijn ook alternatieve methodes geprobeerd om de reliability ratio te bereken. Echter, het bleek dat methodes minimaal dezelfde aannames nodig hebben of een onrealistische aanname vergen over de distributie van de aankomsttijden.

Om een betere reliability ratio voor het goederenvervoer te bepalen zal het noodzakelijk zijn om nieuw onderzoek te doen. Dit onderzoek zou kunnen bestaan uit een stated preference onderzoek, dat naast gemiddelde reistijd en gemiddelde kosten ook de spreiding van aankomsttijden bevat in de beschrijving van de alternatieven. Deze spreiding kan bijvoorbeeld gepresenteerd worden als een reeks van tien aankomsttijden. In de achtergrondvragen moet dieper ingegaan worden op het "te laat" komen (onderscheid maken tussen te laat door vertraging in het productieproces en door vervoersvertragingen), op het tijdsvenster waarbinnen de levering gedaan moet worden (probeert men standaard aan het begin van het tijdsvenster te arriveren?) en op de gehanteerde buffertijd. Verder moeten er vragen gesteld worden om te bepalen welk deel van de vervoerders hun buffertijd constant houdt en welk deel gewoon later weggaat.

Summary

Taking into account improvements of the reliability of travel times in cost-benefit analyses (CBA) of infrastructure investments is likely to become standard practice in the Netherlands. In order to make this possible, it is necessary to have a well-defined reliability measure that can be easily translated into monetary units.

There are several methods of defining such a reliability measure. Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer (the Transport Research Centre of the Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management) prefers to use reliability ratios in valuation methods for reliability improvements because of international standards² and because these ratios are needed as an input for LMT-BT (a tool to predict future reliability levels). Indicative values for the reliability ratios in passenger transport have been set before. The report at hand provides indicative values for the reliability ratios in freight transport which are based on earlier research on travel time valuation.

Reliability ratios cannot be directly derived from this earlier study, since the buffer time and its relation with the time frame within which a delivery is called “in time” was not investigated. As a consequence, the current project makes assumptions on the ratio of the average transport time and the standard deviation of arrival times. For road transport, we can use an estimated ratio that is based on a different study, which is, however, only an approximation of the true value.

Furthermore, an assumption was made on how freight carriers respond to an improved reliability: do they keep their buffer time constant, or will they postpone their departure to keep the probability to arrive “in time” constant? No research on this behaviour of freight carriers exists, so assumptions needed to be made.

For road transport, we assume that 50% of the carriers keep their buffer time constant and 50% of the carriers keep their probability of arriving late constant, resulting in a reliability ratio for road transport of 1.2. This ratio depends strongly on the assumptions made, but can be used as an indicative value.

The reliability ratio for other transport modes is more difficult to determine, since there is no information that can be used for estimating the ratio between transport time and the standard deviation of arrival time. However, it is possible to use a direct method to value

² This standard was discussed during an international expert meeting (held in the Netherlands, October 2004), see “The value of reliability in transport: provisional values for The Netherlands based on expert opinion”, RAND Europe, draft report TR-240-AVV commissioned by AVV, 2005

reliability improvements, though this method does not use reliability ratios. In addition, the reliability ratio is determined for a wide range of assumptions on the ratio between transport time and the standard deviation of arrival time, and on the behaviour of freight carriers.

Alternative methods have been tried to calculate the reliability ratio for freight transport. However, it turned out that at a minimum the same assumptions had to be made, or that an unrealistic assumption on the distribution of arrival times had to be made.

Because of the assumptions underlying the current (indicative) reliability ratio, it is necessary to conduct further research in order to derive a more precise reliability ratio. This project could be based on a stated preference research which would include alternatives described by average travel time, average costs, but also the variation of arrival times. This variation can be presented as a series of ten arrival times. Furthermore, respondents should be asked about arriving late (distinguishing between arriving late due to delays in the production process and due to delays during the transport) and about their buffer time. Finally, it needs to be investigated which fraction of the carriers keep their buffer time constant and which fraction postpones their departure time.

1.1 **Achtergrond**

Betrouwbaarheid is een maat voor de onzekerheid van de reistijden en is één van de kernonderwerpen in de Nota Mobiliteit. Het gaat hier om de verdeling van de reistijden rondom de verwachte reistijd. In de toekomst zal bij de beoordeling van mogelijke investeringen in toenemende mate ook de verwachte verandering van de betrouwbaarheid meegenomen worden bij de kosten-baten analyses (KBA).

Om dergelijke afwegingen mogelijk te maken is het noodzakelijk om een goed gedefinieerde maat te hebben voor de omvang van de betrouwbaarheid, die eenvoudig om te zetten is naar een waardering in monetaire eenheden. Tijdens de expertmeeting “Betrouwbaarheidswaardering”³ is benadrukt dat het voor de uitwisselbaarheid van (internationale) resultaten goed zou zijn om consensus te hebben over deze definitie. Daar is de suggestie gedaan om betrouwbaarheid te definiëren als de standaarddeviatie van de reistijdverdeling. Deze standaarddeviatie kan dan middels een reliability ratio (de waardering van een minuut standaarddeviatie relatief tot de waardering van een minuut reistijd) en een value-of-time omgerekend worden tot een waardering in monetaire eenheden.

Rijkswaterstaat Adviesdienst voor Verkeer en Vervoer (AVV) heeft een instrument (LMS-BT⁴) laten bouwen dat gekoppeld is aan het LMS en dat voor een zichtjaar een prognose geeft voor de betrouwbaarheid. Dit instrument is ook geschikt om deze betrouwbaarheid om te rekenen naar een waardering en hiervoor is een reliability ratio nodig als input.

Vanwege de internationale standaard en vanwege de vereiste input voor LMS-BT verkiest AVV om reliability ratio's te gebruiken in haar standaard waarderingsmethode voor betrouwbaarheidsverbeteringen. Aangezien AVV LMS-BT reeds gebruikt voor het doorrekenen van beleidsopties in het kader van de Nota Mobiliteit heeft AVV op korte termijn een indicatie nodig voor deze reliability ratio's. Voor het personenvervoer is een indicatie vastgesteld tijdens de eerder genoemde expert meeting, maar daar is geen

³ “The value of reliability in transport: provisional values for The Netherlands based on expert opinion”, RAND Europe, concept rapport TR-240-AVV voor AVV, 2005

⁴ “Ontwikkeling ex ante Instrument Betrouwbaarheid”, RAND Europe, rapport TR-233-AVV voor AVV, 1 december 2004

uitspraak gedaan over reliability ratio's voor het goederenvervoer. Dit onderzoek poogt een indicatie te geven voor deze ratio's op basis van eerder gedaan onderzoek naar reistijdwaardering in het goederenvervoer.

1.2 Reistijdwaardering in het goederenvervoer

In 2003/2004 heeft RAND Europe samen met SEO en Veldkamp/NIPO een onderzoek gedaan naar de reistijdwaardering in het goederenvervoer⁵ (hierna: hoofdonderzoek). Dit project omvatte zowel een revealed preference (RP) als een stated preference (SP) onderzoek. Op basis hiervan zijn nutsfuncties geschat per transport (dus niet per ton) die termen voor tijd en kosten bevatten, maar ook een term voor de kans om te laat te komen:

$$\text{Nut} = \alpha \cdot \text{IndexKosten} + \beta \cdot \text{IndexTijd} + \delta \cdot \text{IndexKans} + \text{overige termen}$$

Deze functionele vorm van de nutsfunctie is door het gebruik van index-termen niet standaard. Normaal gesproken worden absolute kosten en tijdstermen gebruikt. Echter, tijdens het onderzoek bleek dat dergelijke modellen veel minder significante coëfficiënten opleverden.

1.2.1 Resultaten

Voor dit project zijn drie soorten resultaten uit het hoofdonderzoek gebruikt:

1. De gevonden coëfficiënten in het hoofdonderzoek en de bijbehorende t-ratio's staan in Tabel 1.1. Deze zijn overgenomen uit Tabel 5.6 (wegvervoer) en Tabel 6.9 (overige modaliteiten) van het hoofdonderzoek.
2. Van de transporten over de weg is het voor 35.6% niet van belang om "op tijd" te komen: men heeft geen tijdsafpraak. Voor de overige 64.4% is dit wel van belang (30.4% heeft een tijdsvenster waarbinnen men moet aankomen, en 34.0% moet op een bepaald tijdstip arriveren). Tabel 1.2 geeft een overzicht van deze percentages voor alle modaliteiten. Deze gegevens zijn overgenomen uit de appendix van het rapport over het hoofdonderzoek.
3. De respondenten in het hoofdonderzoek is gevraagd om een inschatting te geven van welke kans zij hebben om te laat te komen. Dit getal is per respondent verschillend. De antwoorden op deze vraag zijn niet gerapporteerd in het eindrapport van het hoofdonderzoek, maar zijn in dit rapport opgenomen in Appendix B (Tabel B.1 en B.4).

Tabel 1.3 geeft de standaardwaarde voor de kans op het niet-op-tijd komen (P_0). Dit is de mediaan van de waargenomen verdeling van de kans om te laat te komen.

⁵ "Hoofdonderzoek naar de reistijdwaardering in het goederenvervoer", RAND Europe, SEO, Veldkamp/NIPO, Rapport TR-154-AVV voor AVV, maart 2004.

Segment	Index Kosten		Index Tijd		Index Kans niet-op-tijd	
	α^*	t-ratio	β^*	t-ratio	δ^*	t-ratio
Wegvervoer totaal	-0.0241	-13.0	-0.0192	-2.8	-0.0060	-6.2
- laagwaardige grondstoffen	-0.0307	-10.9	-0.0241	-1.9	-0.0042	-2.9
- solo						
- combinatie						
- hoogwaardige grondstoffen	-0.0247	-3.9	-0.0241	-1.9	-0.0042	-2.9
- solo						
- combinatie						
- containers	-0.0212	-2.6	-0.0176	-2.5	-0.0081	-7.8
- solo						
- combinatie						
- eindproducten	-0.0220	-4.4	-0.0176	-2.5	-0.0081	-7.8
- met waardeverlies						
- klein						
- solo						
- combinatie						
- zonder waardeverlies						
- klein						
- solo						
- combinatie						
Spoor	-0.0182	-3.0	-0.0130	-3.0	-0.0053	-2.0
- bulk						
- containers						
- wagonlading						
Binnenvaart	-0.0355	-2.9	-0.0130	-3.0	-0.0085	-3.4
- containers						
- niet-containers						
Zeevaart	-0.0639	-7.5	-0.0056	-2.4	-0.0065	-4.3
- containers						
- niet-containers	-0.0232	-2.8	-0.0056	-2.4	-0.0065	-4.3
Luchtvaart	-0.0244	-4.8	-0.0137	-3.9	-0.0111	-2.6

Tabel 1.1 Resultaten hoofdonderzoek

	Weg	Spoor	Binnenvaart	Zeevaart	Luchtvaart
Tijdstip is van belang	34.0%	25.0%	39.6%	38.5%	43.8%
Tijdvenster	30.4%	52.8%	24.5%	26.9%	25.0%
“op tijd” is niet van belang	35.6%	22.2%	35.8%	34.6%	31.3%

Tabel 1.2 Percentage van goederentransporten waarvoor op tijd komen van belang is.

Segment	P ₀
Wegvervoer	5%
Spoor	5%
Binnenvaart	3%
Zeevaart	5%
Luchtvaart	5%

Tabel 1.3 Percentages van goederentransporten dat te laat komt.

1.2.2 Directe waarderingsmethode

In de sectie over de achtergrond van dit project (sectie 1.1) is uitgelegd dat de uiteindelijke waardering van mogelijke beleidsmaatregelen zal worden gedaan met behulp van reliability ratio's. Voor de compleetheit van het verhaal wordt hier vermeld dat de waardering ook rechtstreeks kan worden bepaald door specifieke projectinformatie te combineren met in het hoofdonderzoek gevonden coëfficiënten.

Voorbeeld: stel dat een bepaalde beleidsmaatregel de volgende effecten heeft voor een gemiddeld wegtransport:

- Gemiddelde reistijd T neemt af van 90 naar 87 minuten
- Standaarddeviatie σ van de aankomsttijden neemt af van 15 naar 14.5 minuten⁶
- Een vervoerder is “te laat” als hij 20 minuten na de gemiddelde aankomsttijd arriveert (buffertijd BT).

Een standaard KBA geeft een waardering voor de verbetering van de reistijd. Uitgaande van een reistijdwaardering van 1.77 euro per uur per wegtransport (uit hoofdonderzoek) heeft deze verbetering een monetaire waarde van:

$$(90 - 87)/60 \text{ uur} \cdot 177 \text{ eurocent/uur} = 8.9 \text{ eurocent per wegtransport.}$$

Om de waardering voor de verbetering van de betrouwbaarheid te berekenen moeten we eerst de verandering van de standaarddeviatie omrekenen in een verandering van de kans op “te laat” te komen. Met behulp van de resultaten uit het hoofdonderzoek kan dit worden omgezet naar een equivalente verandering van reistijd (equivalent in de zin dat beide gelijk gewaardeerd worden). Met behulp van de standaard reistijdwaardering volgt er nu een waardering voor de betrouwbaarheidsverbetering. In detail werkt dit als volgt:

Uit de standaarddeviatie en de buffertijd kan de kans op “te laat” komen worden berekend:

$$P_{\text{TeLaat}} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \text{erf}(BT / (\sigma\sqrt{2}))),$$

(hierin is erf de zogenaamde error functie⁷). Er volgt nu dat P_{TeLaat} daalt van 9.12% naar 8.39%:

$$\sigma = 15 \text{ minuten} \Rightarrow \text{erf}(20 / (15 \cdot \sqrt{2})) = 0.8176 \Rightarrow P_{\text{TeLaat}} = 0.0912$$

$$\sigma = 14.5 \text{ minuten} \Rightarrow \text{erf}(20 / (14.5 \cdot \sqrt{2})) = 0.8322 \Rightarrow P_{\text{TeLaat}} = 0.0839$$

oftewel de index voor het percentage “te laat” daalt van 100 naar 92 (= $100 \cdot 0.0839 / 0.0912$). Dit kunnen we transformeren naar een equivalente verbetering van de index voor

⁶ Het kan ook zijn dat rechtstreeks de kans op “te laat” komen bekend is. In dat geval kan rechtstreeks het indexcijfer voor de kans “te laat” worden berekend en de bijbehorende waardering. De stap om P_{TeLaat} uit σ te bepalen is dan niet meer nodig.

⁷ De error functie $\text{erf}(z) = (2/\sqrt{\pi}) \cdot \int_0^z \exp(-t^2) \cdot dt$ is gerelateerd aan de oppervlakte onder de Gaussische (of normale) verdeling. Voor meer informatie over deze functie, zie <http://mathworld.wolfram.com/Erf.html>. Berekeningen met de error functie kunnen worden gedaan met Microsoft Excel (met Analysis ToolPak Add-In), Mathematica of met behulp van http://www.mhtl.uwaterloo.ca/old/onlinetools/func_calc/func_calc.html. De factor $\frac{1}{2}$ in gegeven berekening ontstaat doordat alleen kans op “te laat” wordt berekend en de kans op “te vroeg” niet wordt meegenomen.

de reistijd (dit is een verbetering van de index van de reistijd die eenzelfde nutsverbetering heeft):

$$\begin{aligned}\Delta \text{IndexTijd} &= (\delta^* / \beta^*) \cdot \Delta \text{IndexKans} \\ &= (-0.0060 / -0.0192) \cdot (100 - 92) = 2.48\end{aligned}$$

(De waarden voor δ^* en β^* komen uit Tabel 1.1).

Een verandering van de reistijdindex van 2.48 komt overeen met een reistijdverandering van 2.23 minuten (index 100 \rightarrow reistijd = 90 minuten; index 102.48 \rightarrow reistijd = 92.23 minuten) en een dergelijke verandering heeft een monetaire waarde van:

$$(92.23 - 90) / 60 \text{ uur} \cdot 177 \text{ eurocent/uur} = 6.6 \text{ eurocent per wegtransport.}$$

Ofwel: deze beleidsmaatregel levert een waardering op van 8.9 eurocent per wegtransport door zuivere reistijdwinst en additioneel 6.6 eurocent per wegtransport als gevolg van de verbetering van de betrouwbaarheid.

1.2.3 Relatie met de waarderingsmethode op basis van reliability ratio's

Zoals eerder gezegd is de functionele vorm van de nutsfunctie zoals die gebruikt is in het hoofdonderzoek (dus op basis van indexcijfers en niet op basis van absolute grootheden) niet standaard. Hij kan wel omgezet worden naar een "standaard" nutsfunctie met "standaard" kosten en tijd termen:

$$\begin{aligned}\text{Nut} &= \alpha^* \cdot \text{IndexKosten} + \beta^* \cdot \text{IndexTijd} + \delta^* \cdot \text{IndexKans} + \text{overige termen} \\ &= \alpha^* \cdot 100 \cdot (K_0 + \Delta K) / K_0 + \beta^* \cdot 100 \cdot (T_0 + \Delta T) / T_0 + \delta^* \cdot 100 \cdot (P_0 + \Delta P) / P_0 + \text{ov.} \\ &= \text{Nut}_0 + (100 \cdot \alpha^* / K_0) \cdot \Delta K + (100 \cdot \beta^* / T_0) \cdot \Delta T + (100 \cdot \delta^* / P_0) \cdot \Delta P + \text{ov.}\end{aligned}$$

Hierin zijn K de kosten, T de tijd en P de kans om niet op tijd te komen. Index 0 betekent de referentie (basis) waarde en Δ geeft de verandering aan t.o.v. deze referentie.

De reliability ratio ($RR \equiv \gamma / \beta$) is gedefinieerd aan de hand van een standaard nutsfunctie:

$$\begin{aligned}\text{Nut} &= \alpha \cdot K + \beta \cdot T + \gamma \cdot \sigma + \text{overige termen} \\ &= \alpha \cdot (K_0 + \Delta K) + \beta \cdot (T_0 + \Delta T) + \gamma \cdot (\sigma_0 + \Delta \sigma) + \text{overige termen} \\ &= \text{Nut}_0 + \alpha \cdot \Delta K + \beta \cdot \Delta T + \gamma \cdot \Delta \sigma + \text{overige termen}\end{aligned}$$

Dus de coëfficiënten van het hoofdonderzoek moeten eerst omgezet worden naar standaardcoëfficiënten voordat een reliability ratio bepaald kan worden:

$$\begin{aligned}\alpha &= 100 \cdot \alpha^* / K_0 \\ \beta &= 100 \cdot \beta^* / T_0 \\ \delta &= 100 \cdot \delta^* / P_0\end{aligned}$$

2.1 Theorie

De reliability ratio RR is eigenlijk een soort afuilratio tussen een verbetering van de reistijd en een verbetering van de standaarddeviatie:

$$\gamma / \beta = -\Delta T / \Delta \sigma \Big|_{\text{Gelijkblijvend nut, kosten, overige termen}} \equiv \text{RR}$$

Deze reliability ratio kan uiteindelijk gebruikt worden om een verbetering van de standaarddeviatie $\Delta \sigma$ om te zetten naar een monetaire waardering:

$$\text{Waardering} = \text{VOT} \cdot \text{RR} \cdot \Delta \sigma$$

Echter, de verhouding γ / β is niet bekend op basis van het hoofdonderzoek. Wat wel bekend is, is de afuilratio tussen een verbetering van de index van de reistijd en een verbetering van de index van de kans om niet-te-laet te komen:

$$\delta^* / \beta^* = -(\Delta T / T_0) / (\Delta P / P_0) \Big|_{\text{Gelijkblijvend nut, kosten, overige termen}}$$

Uit deze factor kan op de volgende manier de reliability ratio worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{RR} &= -\Delta T / \Delta \sigma = - (\Delta T / \Delta P) \cdot (\Delta P / \Delta \sigma) \\ &= - [(\Delta T / T_0) / (\Delta P / P_0)] \cdot (T_0 / P_0) \cdot (\Delta P / \Delta \sigma) \\ &= (\delta^* / \beta^*) \cdot (T_0 / \sigma_0) \cdot [(\Delta P / P_0) / (\Delta \sigma / \sigma_0)] \end{aligned}$$

Dus de reliability ratio kan worden berekend door bepaling van de volgende drie factoren:

1. de verhouding δ^* / β^*
2. de verhouding T_0 / σ_0
3. de verhouding $(\Delta P / P_0) / (\Delta \sigma / \sigma_0)$

2.2 Wegvervoer

In de volgende subsecties worden bovengenoemde drie verhoudingen nader uitgewerkt voor het specifieke geval van goederentransport over de weg.

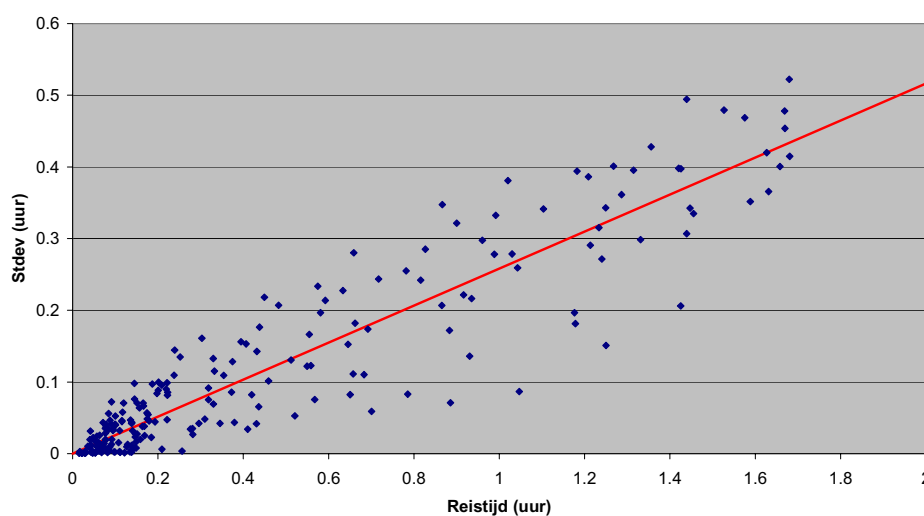
2.2.1 Verhouding coëfficiënten δ^* / β^*

Deze verhouding is rechtstreeks te bepalen uit de resultaten van het hoofdonderzoek:

$$\delta^* / \beta^* = 0.3125$$

2.2.2 Verhouding reistijd en standaarddeviatie aankomsttijd verdeling

Deze verhouding is niet bekend op basis van het hoofdonderzoek, want hier werd destijds niet naar gevraagd. Echter, bij de ontwikkeling van LMS-BT⁸ zijn voor 154 dagen in 2002 voor 212 (hoofdwegennet-)trajecten van verschillende lengtes reistijden bepaald. We zijn teruggegaan naar deze data en hebben ook de bijbehorende standaarddeviatie per traject bekeken. Deze staan in de volgende grafiek, waarin de rode lijn de gemiddelde verhouding weergeeft:



De gemiddelde verhouding T_0 / σ_0 is gelijk 3.873. In de bovenstaande grafiek is de lijn getrokken door de oorsprong. Er kan ook een lijn met een constante gefit worden, zodat de verhouding T_0 / σ_0 afhankelijk wordt van de reistijd (en dus ook van de afstand). Hierbij bleek de constante niet significant van nul te verschillen. Daarom kunnen we hier uitgaan van een lijn door de oorsprong. Wanneer we nu aannemen dat:

1. de verdeling van aankomsttijden dezelfde standaarddeviatie heeft als de verdeling van reistijden,
2. en dat de verhouding tussen T_0 / σ_0 voor al het verkeer op het hoofdwegennet gelijk is aan dezelfde verhouding voor het vrachtverkeer,

dan kunnen we deze verhouding gebruiken bij de berekening van de reliability ratio.

Op de aannames 1 en 2 is wel een en ander af te dingen. Het vrachtverkeer heeft een lagere maximumsnelheid dan het personenverkeer, en doorgaans ook een lagere gemiddelde snelheid. We veronderstellen in aanname 2 dat dit zich vertaalt in een evenredig lagere

⁸ "Ontwikkeling ex ante Instrument Betrouwbaarheid", RAND Europe, Rapport TR-233-AVV voor AVV, december 2004

standaarddeviatie. De reistijden in het vrachtverkeer zijn langer en de onzekerheid daarin is in dezelfde mate groter dan voor personenverkeer.

Belangrijker is vermoedelijk nog de aanname dat aankomsttijden en reistijden direct in elkaar zijn te vertalen. In principe ontstaat de distributie van aankomsttijden door de convolutie van de distributie van de vertrektijden met de distributie van de reistijden. Hierdoor wordt de breedte van de distributie van de aankomsttijden minstens net zo breed als de distributie van de reistijden, maar waarschijnlijk breder. Aan de andere kant: in operationeel opzicht zouden chauffeurs echter mee- en tegenvallers kunnen compenseren door te schuiven met rustmomenten, en eventueel het variëren van de snelheid (hard rijden om verloren tijd in te halen, etc). Dit zou pleiten voor juist een hogere waarde van de verhouding van T_0 / σ_0 . Om duidelijk te maken wat het effect is van deze aanname (en eventuele andere aannames) van de waarde van deze verhouding zijn in het volgende hoofdstuk ook andere verhoudingen doorgerekend.

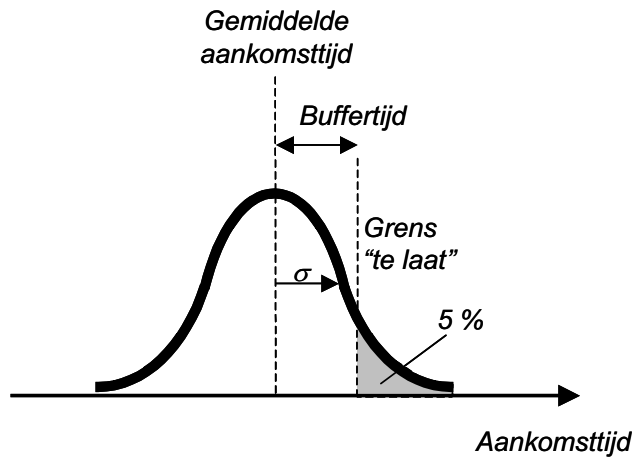
2.2.3 Verhouding procentuele verbetering P en σ

De verhouding $(\Delta P/P_0) / (\Delta\sigma/\sigma_0)$ is de verhouding tussen de procentuele verbetering van de kans niet-te-laet en de procentuele verbetering van de standaarddeviatie. Voor een normale verdeling geldt voor de kans om te-laet⁹ te komen:

$$(1 - 2 \cdot P_{TeLaat}) = \text{erf}(BT / (\sigma\sqrt{2})),$$

$$P_{TeLaat} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \text{erf}(BT / (\sigma\sqrt{2}))),$$

waar BT de buffertijd is, ofwel de hoeveelheid tijd na de gemiddelde aankomsttijd, waarna men “te laat” is, zie de volgende figuur:



Uit het hoofdonderzoek is bekend dat P_0 gelijk is aan 5%. Er geldt dan $BT_0 = 1.64485\sigma_0$. Stel nu dat P afneemt tot 4.95% (relatieve verandering van 1%), dan is BT gelijk aan 1.64972σ , ofwel:

$$(BT_0 + \Delta BT) = 1.64972 (\sigma + \Delta\sigma)$$

⁹ Let op: hier is overgestapt van de kans om niet-op-tijd te komen naar een kans om te-laet te komen.

Terzijde: deze waarde is afhankelijk van de aanname van de Gaussische distributie. Deze is echter niet onredelijk, aangezien het de distributie van aankomsttijden betreft. Deze ontstaat uit de convolutie van de reistijden (asymmetrisch met staart naar langere reistijden) en vertrektijden (waarschijnlijk asymmetrisch met staart naar eerdere vertrektijden). Bovendien heeft een asymmetrische verdeling (zoals een log-normale verdeling) in het algemeen een extra vrijheidsgraad ten opzichte van de Gaussische verdeling, zodat er alsnog een extra aanname gemaakt zou moeten worden.

2.3 Extreme situaties

Tot nu toe is er vanuit gegaan dat een verbetering van de standaarddeviatie $\Delta\sigma$ (als gevolg investeringen in de infrastructuur) heeft geleid tot een verbetering van de kans om “te laat” te komen (ΔP) en dat de buffertijd constant is gebleven ($\Delta BT = 0$). Echter, dit is slechts één mogelijkheid (die hierna onder punt 1 wordt uitgewerkt). De andere (extreme) mogelijkheid is dat alle vervoerders op de verbetering van de standaarddeviatie $\Delta\sigma$ hebben gereageerd door later weg te gaan (buffertijd te verkleinen).¹⁰ In die situatie is de kans om “te laat” te komen gelijk gebleven ($\Delta P = 0$) en kunnen we de resultaten van het hoofdonderzoek niet gebruiken om te bepalen welke waardering er hoort bij deze verbetering $\Delta\sigma$. Deze situatie is hierna onder punt 2 uitgewerkt.

De beide extreme situaties zijn:

1. We nemen aan dat de buffertijd gelijk gebleven is ($\Delta BT = 0$), dus dat betekent dat de standaarddeviatie moet zijn afgenomen. De relatieve verandering is dan:

$$\Delta\sigma / \sigma_0 = 1.64485/1.64972 - 1 = -0.00296$$

Dit levert dus een verhouding op $(\Delta P/P_0) / (\Delta\sigma/\sigma_0) = 3.38$. Gecombineerd met eerdere resultaten geeft dit:

$$\begin{aligned} RR &= (\delta^* / \beta^*) \cdot (T_0 / \sigma_0) \cdot [(\Delta P/P_0) / (\Delta\sigma/\sigma_0)] \\ &= 0.3125 \cdot 3.873 \cdot 3.39 = 4.103. \end{aligned}$$

2. Neem nu aan dat de kans om “te laat” te komen gelijk is gebleven ($\Delta P = 0$), dan heeft de vervoerder op de verbeterde standaarddeviatie gereageerd door later te vertrekken (buffertijd te verkleinen). Aangezien $BT_0 = 1.64485\sigma_0$ geldt $\Delta BT = 1.64485\Delta\sigma$.

Omdat $\Delta P = 0$ kunnen we de resultaten van het hoofdonderzoek niet gebruiken om de bijbehorende waardering te berekenen, maar dit kan wel op de volgende manier:

$$\text{Waardering} = \text{VOT} \cdot \text{Afruilratio} \cdot \text{Buffertijd} \cdot \text{Reistijd} \cdot \Delta BT$$

De waardering van de extra buffertijd ΔBT kan benaderd worden door de standaard reistijdwaardering (deze benadering is niet exact). Oftewel, de afruilratio

¹⁰ Let op dat deze aanname niet overeenkomt met eerdere veronderstellingen. Dit is juist gedaan om de gevoeligheid van de uitkomsten te laten zien voor deze eerdere veronderstellingen.

Buffertijd-Reistijd is gelijk aan 1. Deze waardering kunnen we gelijk stellen aan de waardering in termen van de verbetering van de standaarddeviatie (waarvoor we een (equivalente) reliability ratio gebruiken):

$$\text{Waardering} = \text{VOT} \cdot \text{RR}_{\text{equiv}} \cdot \Delta\sigma$$

Tenslotte volgt:

$$\text{RR}_{\text{equiv}} = 1.64485$$

In werkelijkheid zullen beide processen tegelijk plaatsvinden: wanneer de standaarddeviatie afneemt (het verkeer wordt betrouwbaarder), dan zal de afname van de kans om “te laat” te komen deels gecompenseerd worden doordat vervoerders met minder buffertijd zullen werken. Wat de werkelijke reliability ratio is, zal afhangen van in hoeverre dit plaatsvindt (ofwel in hoeverre de verlaging van de kans als gevolg van afname standaarddeviatie, en verhoging kans als gevolg van de afname van de buffertijd elkaar compenseren). Stel dat dit half-half gebeurt, dan is de reliability ratio 2.874. Andere aannames voor deze verhouding worden in het volgende hoofdstuk doorgerekend.

2.4 Reliability ratio voor het wegvervoer

De hierboven gevonden reliability ratios gelden alleen voor het verkeer waarvoor het van belang is om op tijd te komen. Dit is in ieder geval de 34% uit tabel Tabel 1.2, maar ook het verkeer met een tijdvenster waarvoor de grootte van het tijdvenster klein is ten opzichte van de vertraging. Er is uitgezocht voor hoeveel transporten met een tijdvenster geldt dat het tijdvenster kleiner of gelijk is aan de gemiddelde vertraging. Dit bleek te gaan om 18 van de 59 wegtransporten met een tijdvenster in het hoofdonderzoek (zie Appendix B, Tabel B.2). In totaal gaat het dus om 84 van de 194 transporten waarvoor het van belang is om op tijd te komen (43.3%).¹¹ Voor het totale verkeer geldt dus:

$$\text{RR}_{\text{final}} = 0.433 \cdot 2.874 = 1.24$$

Wel geldt voor de 43.3% waar op tijd komen niet van belang is dat er wel sprake zou kunnen zijn van een zekere risico-aversie. Dit is niet meegenomen in de berekening. Ook geldt dat langere (verwachte) reistijden voor deze transporten via de standaard reistijdwaardering worden gewaardeerd. Hierbij wordt rekening gehouden met materiaal en personeel dat bij kortere reistijden opnieuw ingezet kan worden.

De berekende RR van 1.24 voor het goederenwegvervoer geldt onder een groot aantal aannames, die hierboven besproken zijn. De waarde is enigszins hoger dan wat doorgaans voor personenauto's wordt gevonden (rond de 0.8), maar dit ligt in de lijn der verwachting. In de waardering voor de reistijd in het wegvervoer zelf zitten nauwelijks logistieke elementen. De gevonden afruilratio's tussen tijd en kosten komen grofweg overeen met de kosten voor personeel en materieel in het transport, zijn ook gebaseerd op de waardering door vervoerders en verladers met eigen vervoer. Verstoring van productieprocessen, schappen die leeg blijven, bederf van produkten, extra

¹¹ Voor deze 43.3% geldt nog steeds dat er een kans is van 5% dat het transport “te laat” komt, zie tabel B.3 in de appendix.

spoedverzendingen en effecten op veiligheidsvoorraden zitten hier niet (of in zeer geringe mate) in. Deze kostenposten zijn dan ook relevanter voor de waardering van onverwachte vertragingen. Als er onverwachte vertraging optreedt gelden ook de opportuniteitskosten voor de vervoerder, maar daar bovenop komen de genoemde extra logistieke kosten voor de verlader. Daardoor kan de waardering voor een minuut onzekerheid t.o.v. een minuut verwachte reistijd in het goederenvervoer hoger zijn dan voor personenverkeer.

2.5 Alternatieve methodes

Uit bovenstaande is duidelijk dat de resultaten van het hoofdonderzoek niet rechtstreeks zonder extra aannames gebruikt kunnen worden om een reliability ratio voor het wegvervoer te bepalen. De eerste complicatie is het gebruik van indexcijfers in de nutsfunctie in plaats van absolute grootheden, maar dit is niet echt een probleem aangezien de bijbehorende coëfficiënten makkelijk omgerekend kunnen worden naar standaardcoëfficiënten (zie formules aan het einde van paragraaf 1.2.3). De werkelijke complicatie zit in het feit dat er in het hoofdonderzoek weinig onderzocht is over de buffertijd die vervoerders hanteren (en het eventuele verband met het tijdvenster waarbinnen de levering als “op tijd” geldt). Informatie over deze buffertijd is noodzakelijk om een kans om “op tijd” te komen om te rekenen naar een standaarddeviatie (zie ook het voorbeeld in paragraaf 1.2.2, waar hier ook een expliciete aanname over gedaan wordt). Juist door het ontbreken van deze informatie was het nodig om resultaten uit een ander onderzoek erbij te betrekken om tot een aanname te komen van de verhouding T_0 / σ_0 .¹²

Vanwege het aantal benodigde aannames hebben we onderzocht of er alternatieve methodes zijn om een reliability ratio te berekenen. Deze staan in de appendix A. Echter, het bleek dat ook deze alternatieve methodes dezelfde aannames nodig hebben (methode van de optimalisatie van de buffertijd) of een onrealistische aanname vergen over de distributie van de aankomsttijden (methode met de binomiale verdeling). We concluderen dat de hierboven beschreven methode de best mogelijke methode is.

¹² Wanneer de nutsfunctie in het hoofdonderzoek geschat was in absolute termen, dan had alsnog een aanname gedaan moeten worden voor de waarde van T_0 .

3.1 Berekening verhoudingen

Het is niet mogelijk om de methode die in het vorige hoofdstuk is gebruikt voor het wegvervoer toe te passen voor de andere modaliteiten. De reden hiervoor is dat voor de tweede stap (de bepaling van de verhouding tussen de standaard reistijd en de bijbehorende standaarddeviatie T_0 / σ_0) alleen gegevens voor het wegvervoer beschikbaar zijn.

Voor een goede KBA hoeft dit geen probleem te zijn. Immers, de directe methode zoals beschreven in paragraaf 1.2.2 is altijd beschikbaar. Een reliability ratio kan alleen bepaald worden door het maken van een bepaalde aanname voor de waarde van T_0 / σ_0 . In dit hoofdstuk zullen reliability ratio's afgeleid worden voor verschillende waarden van deze verhouding.

3.1.1 Verhouding coëfficiënten δ^* / β^*

Deze verhoudingen staan in Tabel 3.1; deze zijn rechtstreeks bepaald uit de resultaten van het hoofdonderzoek (zie Tabel 1.1).

	δ^* / β^*
Wegvervoer totaal	0.3125
- laagwaardige grondstoffen	0.1743
- hoogwaardige grondstoffen	0.1743
- containers	0.4602
- eindproducten	0.4602
Spoor	0.4077
Binnenvaart	0.6538
Zeevaart containers	1.1607
Zeevaart niet-containers	1.1607
Luchtvaart	0.8102

Tabel 3.1 Verhouding coëfficiënten δ^* / β^*

3.1.2 Verhouding reistijd en standaarddeviatie aankomsttijd verdeling

Zoals hierboven al is aangegeven kon er alleen voor het wegvervoer op basis van een andere studie een schatting gemaakt worden van T_0 / σ_0 . In dit hoofdstuk zullen we de reliability ratio's berekenen voor een aantal verschillende waarden van deze verhouding, namelijk voor de waarden 2, 4, 6, 8, 10. De waarde 4 ligt dichtbij de waarde van 3.873 zoals die voor het wegvervoer gevonden is in paragraaf 2.2.2.

3.1.3 Verhouding procentuele verbetering P en σ

Deze verhouding is afhankelijk van de waarde van P_0 . Uit Tabel 1.3 blijkt dat er twee mogelijkheden zijn: $P_0 = 3\%$ of $P_0 = 5\%$.¹³ Middels de formules uit paragraaf 2.2.3 kan worden berekend dat de bijbehorende waarde voor $(\Delta P/P_0) / (\Delta \sigma/\sigma_0) = 4.236$ en 3.378 respectievelijk.

3.2 Reliability ratio's

De uiteindelijke berekening van de reliability ratio is:

$$RR_{\text{final}} = \text{Frac}_{\text{belang}} \cdot [\text{Frac}_{\text{BTgelijk}} \cdot (\delta^* / \beta^*) \cdot (T_0 / \sigma_0) \cdot [(\Delta P/P_0)/(\Delta \sigma/\sigma_0)] + (1 - \text{Frac}_{\text{BTgelijk}}) \cdot A]$$

Hierin zijn

- $\text{Frac}_{\text{belang}}$ de fractie van het betreffende vervoer waarvoor op tijd komen van belang is (zie Tabel 1.2 + correctie zoals uitgelegd aan begin van paragraaf 2.4. Voor het vervoer per spoor, binnenvaart, zeevaart en luchtvaart komt dit percentage op respectievelijk 33.3%, 41.5%, 43.3%, en 54.2%).
- $\text{Frac}_{\text{BTgelijk}}$ de fractie van het betreffende vervoer die de buffertijd constant houdt bij een verbetering van de kans om op tijd te komen (deze factor is in het vorige hoofdstuk op 0.5 gesteld)
- A is de verhouding tussen de BT en σ die hoort bij de gegeven kans om “te laat” te komen P_0 : $A = \sqrt{2} \cdot \text{erf}^{-1}(1 - 2 \cdot P_0)$
- De overige factoren zijn in paragraaf 3.1.1 tot en met 3.1.3 behandeld.

Voor zowel de factor T_0 / σ_0 als voor de factor $\text{Frac}_{\text{BTgelijk}}$ zijn meerdere aannames mogelijk, daarom ontstaat er een matrix van mogelijke waarden van de uiteindelijke reliability ratio. Deze tabellen worden hieronder per modaliteit besproken. Voor de wegvervoer modaliteiten is de meest waarschijnlijke waarde, uitgaand van $T_0 / \sigma_0 = 4$ en $\text{Frac}_{\text{BTgelijk}} = 50\%$ grijs gearceerd

3.2.1 Wegvervoer

Tabel 3.2 tot en met Tabel 3.4 geven de reliability ratio's voor het wegvervoer aan voor verschillende combinaties van T_0 / σ_0 en $\text{Frac}_{\text{BTgelijk}}$. De eerste tabel is voor het wegvervoer in het algemeen (zoals ook besproken in het vorige hoofdstuk), de daaropvolgende tabellen

¹³ Eigenlijk moeten deze percentages alleen berekend worden voor de transporten waarvoor “op tijd” komen van belang is. Echter, in dat geval wordt de omvang per segment waarover de mediaan berekend wordt erg klein en de uitkomst onzeker.

zijn voor het vervoer van grondstoffen (laag- en hoogwaardig) en voor het vervoer van containers en eindproducten.

In de tabellen is duidelijk te zien dat de reliability ratio's voor het vervoer van grondstoffen meer dan de helft lager ligt dan voor het vervoer van containers en eindproducten. Aangezien in het hoofdonderzoek is gebleken dat de reistijdwaardering voor alle type transporten weinig verschillen (tussen de 36 en 49 euro per uur), mag hieruit geconcludeerd worden dat bij het vervoer van containers en eindproducten er een hogere waardering is voor het "op tijd" komen dan bij het vervoer van grondstoffen.

Verder valt op dat de reliability ratio gevoeliger is voor de aanname van de waarde van T_0 / σ_0 dan voor de aanname van de waarde van $Frac_{BTgelijk}$.

Wegvervoer totaal		Frac _{BTgelijk}				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	0.91	0.79	0.67	0.55	0.43
	4	1.83	1.48	1.13	0.78	0.43
	6	2.74	2.16	1.59	1.01	0.43
	8	3.66	2.85	2.04	1.24	0.43
	10	4.57	3.54	2.50	1.47	0.43

Tabel 3.2 Reliability ratio's voor het wegvervoer

Wegvervoer Laagwaardige grondstoffen - solo - combinatie Hoogwaardige grondstoffen - solo - combinatie		Frac _{BTgelijk}				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43
	4	1.02	0.87	0.73	0.58	0.43
	6	1.53	1.26	0.98	0.71	0.43
	8	2.04	1.64	1.24	0.83	0.43
	10	2.55	2.02	1.49	0.96	0.43

Tabel 3.3 Reliability ratio's voor het wegvervoer – laag- en hoogwaardige grondstoffen

Wegvervoer containers - solo - combinatie eindproducten - met waardeverlies - klein - solo - combinatie - zonder waardeverlies - klein - solo - combinatie		Frac _{BTgelijk}				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	1.35	1.12	0.89	0.66	0.43
	4	2.69	2.13	1.56	1.00	0.43
	6	4.04	3.14	2.24	1.33	0.43
	8	5.38	4.15	2.91	1.67	0.43
	10	6.73	5.16	3.58	2.01	0.43

Tabel 3.4 Reliability ratio's voor het wegvervoer – containers en eindproducten

3.2.2 Overige modaliteiten

Tabel 3.5 tot en met Tabel 3.8 geven de reliability ratio's voor respectievelijk het goederenvervoer per spoor, binnenvaart, zeevaart en luchtvaart. Uit het feit dat deze ratio bij het zeetransport het hoogst ligt voor bijna alle combinaties van aannames, mag niet direct geconcludeerd worden dat er bij dit vervoer de hoogste waardering wordt gegeven aan het "op tijd" komen, immers hiervoor moet de reliability ratio nog vermenigvuldigd worden met de reistijdwaardering en die is bij zeetransport juist erg laag. Wel mag hieruit geconcludeerd worden dat "op tijd" komen bij zeetransport relatief hoger gewaardeerd wordt dan de pure reistijd.

Spoor - bulk - containers - wagonlading		Frac _{BT} gelijk				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	0.92	0.77	0.63	0.48	0.33
	4	1.83	1.46	1.08	0.71	0.33
	6	2.75	2.15	1.54	0.94	0.33
	8	3.67	2.83	2.00	1.17	0.33
	10	4.59	3.52	2.46	1.40	0.33

Tabel 3.5 Reliability ratio's voor het spoorvervoer

Binnenvaart - containers - niet-containers		Frac _{BT} gelijk				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	2.30	1.83	1.36	0.89	0.42
	4	4.60	3.55	2.51	1.46	0.42
	6	6.90	5.28	3.66	2.04	0.42
	8	9.20	7.00	4.81	2.61	0.42
	10	11.49	8.72	5.95	3.18	0.42

Tabel 3.6 Reliability ratio's voor de binnenvaart

Zeevaart - containers - niet-containers		Frac _{BT} gelijk				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	3.40	2.65	1.91	1.17	0.43
	4	6.79	5.20	3.61	2.02	0.43
	6	10.19	7.75	5.31	2.87	0.43
	8	13.58	10.29	7.01	3.72	0.43
	10	16.98	12.84	8.70	4.57	0.43

Tabel 3.7 Reliability ratio's voor de zeevaart, containers en niet-containers

Luchtvaart		Frac _{BT} gelijk				
		100%	75%	50%	25%	0%
T_0 / σ_0	2	2.97	2.36	1.75	1.15	0.54
	4	5.93	4.59	3.24	1.89	0.54
	6	8.90	6.81	4.72	2.63	0.54
	8	11.87	9.03	6.20	3.37	0.54
	10	14.83	11.26	7.69	4.11	0.54

Tabel 3.8 Reliability ratio's voor de luchtvaart

Uit dit onderzoek is gebleken dat de resultaten van het hoofdonderzoek niet rechtstreeks te gebruiken zijn voor het berekenen van een reliability ratio. Dit werd veroorzaakt doordat in het hoofdonderzoek niet nader ingegaan is op de buffertijd die vervoerders hanteren en de eventuele relatie met het tijdsvenster waarbinnen een levering als “op tijd” geldt. Hierdoor moest een aanname gedaan worden over de verhouding tussen de reistijd en de standaarddeviatie van de aankomsttijden. Deze verhouding kon geschat worden op basis van een ander onderzoek, maar deze schatting is slechts een benadering van de werkelijke verhouding.

Daarnaast moest een aanname gedaan worden over hoe vervoerders reageren op een verbeterde betrouwbaarheid: houden ze hun buffertijd constant, of zullen ze iets later vertrekken zodanig dat hun kans om “op tijd” te komen constant blijft. Hierover is ook niets bekend vanuit het hoofdonderzoek en dit vormt een tweede aanname die gedaan moest worden om tot een reliability ratio te komen.

Als aangenomen wordt dat de verhouding tussen vervoerders die hun buffertijd constant houden en vervoerders die hun kans om “op tijd” te komen constant houden 50%-50% is, dan leidt dit tot een reliability ratio voor het wegvervoer van 1.2. Deze ratio is sterk afhankelijk van de aannames die gedaan zijn, maar is wel bruikbaar als voorlopige waarde.

De reliability ratio voor de overige vervoersmodaliteiten is lastiger te bepalen aangezien er geen onderzoek bekend is op basis waarvan er een schatting gemaakt kan worden van de verhouding tussen de reistijd en de standaarddeviatie van de aankomsttijden. Wel is het mogelijk om met een rechtstreekse methode waarderingen te bepalen voor verbetering van de betrouwbaarheid, echter deze methode maakt geen gebruik van reliability ratio's.

Om een betere reliability ratio voor het goederenvervoer te bepalen zal het noodzakelijk zijn om nieuw onderzoek te doen. Dit onderzoek zou kunnen bestaan uit een stated preference onderzoek, dat naast gemiddelde reistijd en gemiddelde kosten ook de spreiding van aankomsttijden bevat in de beschrijving van de alternatieven. Deze spreiding kan bijvoorbeeld gepresenteerd worden als een reeks van tien aankomsttijden. In de achtergrondvragen moet dieper ingegaan worden op het “te laat” komen (onderscheid maken tussen te laat door vertraging in het productieproces en door vervoersvertragingen), op het tijdsvenster waarbinnen de levering gedaan moet worden (probeert men standaard aan het begin van het tijdsvenster te arriveren?) en op de gehanteerde buffertijd. Verder moeten er vragen gesteld worden om te bepalen welk deel van de vervoerders hun buffertijd constant houdt en welk deel gewoon later weggaat.

APPENDICES

Appendix A: Alternatieve Methodes

Binomiale verdeling

Deze methode is gebaseerd op een eerdere notitie over reliability ratios in het openbaar vervoer van Piet Rietveld.¹⁴

We gaan weer uit van de volgende nutsfunctie:

$$\begin{aligned}\text{Nut} &= \alpha \cdot K + \beta \cdot T + \gamma \cdot \sigma + \text{overige termen} \\ &= \alpha \cdot K + \beta \cdot T^* + \delta \cdot P + \text{overige termen}\end{aligned}$$

Voor de aankomsttijdverdeling nemen we een binomiale verdeling, waarbij de ene optie “op tijd” is en de andere optie een vertraging is met een omvang van de gemiddelde (of mediane) vertraging zoals waargenomen in het hoofdonderzoek.

Stel P = de kans op het te laat komen, en ΔL = de omvang van de vertraging. Als men niet te laat komt, dan arriveert met op tijdstip T . Als men te laat komt, dan is de aankomsttijd $T + \Delta L$. Dan geldt:

$$\begin{aligned}T_{\text{gem}} &= (1-P) \cdot T + P \cdot (T + \Delta L) = T + P \cdot \Delta L \\ \sigma &= \sqrt{[(1-P) \cdot (T - (T + P \cdot \Delta L))]^2 + P \cdot ((T + \Delta L) - (T + P \cdot \Delta L))^2} \\ &= \Delta L \cdot \sqrt{2P \cdot (1-P)}\end{aligned}$$

Om te beginnen nemen we aan dat T de reistijd is zonder enige vertraging (scheduled time).¹⁵ Dus een verbetering van de betrouwbaarheid is zichtbaar in de σ , maar heeft geen effect op de T .

We gaan er vanuit dat de T in de nutsfunctie in termen van de standaarddeviatie gelijk is aan de T^* in de nutsfunctie in termen van de kans op het niet op tijd komen. Hieruit volgt dan:

$$\gamma \cdot \sigma = \delta \cdot P$$

¹⁴ Piet Rietveld: “Interpretatie uitkomsten studie Rietveld et al. (2001) in termen van reliability ratio” december 2004

¹⁵ Het is netter om ook rekening te houden met een verbetering van de reistijd. Immers, als de kans op files iets afneemt, dan zal zowel de gemiddelde reistijd iets afnemen als de kans om “te laat” te komen. Echter, er is berekend dat de impact op de reistijd (zeker als deze als indexcijfer wordt weergegeven) slechts beperkt is en dat deze in eerste orde verwaarloosd mag worden.

en hieruit volgt voor de reliability ratio RR:

$$\begin{aligned} RR &\equiv \gamma / \beta \\ &= (\delta \cdot P) / (\sigma \cdot \beta) \\ &= [(\delta^* \cdot T_0) / (\beta^* \cdot P_0)] \cdot [P / \sigma] \\ &= (\delta^* / \beta^*) \cdot (T_0 / \Delta L) \cdot (P / P_0) / \sqrt{[2P \cdot (1-P)]} \end{aligned}$$

en al deze grootheden zijn bekend uit het hoofdonderzoek. Onder de veronderstelling $P = P_0$ volgt

$$RR = 17.51$$

Het is van belang om het verschil te benadrukken tussen de studie van Rietveld et al. (2001) en de huidige context. In de SP studie van Rietveld wordt geen aandacht besteed aan scheduling problemen. Er is geen sprake van de noodzaak om ergens 'op tijd' aan te komen. Eerder vertrekken heeft in deze context geen zin als de eerdere trein even onbetrouwbaar is. Het begrip buffertijd speelt in deze benadering ook geen rol. Deze studie past dus in strikte zin niet in de huidige context waar juist het te laat aankomen centraal staat, waarbij 'te laat' gekoppeld is aan de wensen van afnemers. Gezien dit verschil in context is de bovengenoemde aanname dat T gelijk mag worden gesteld aan T^* aanvechtbaar.

Binomiale verdeling (2)

Er bestaat een tweede manier om de methode zoals beschreven door Rietveld (zie voetnoot 14) toe te passen op het probleem van dit project. Deze methode volgt de Rietveld methode nog preciezer en houdt rekening met de nutsfunctie op basis van indices.

We starten weer met de nutsfunctie zoals geschat in het hoofdonderzoek. Vervolgens berekenen we het nut (Nut_0) in de basissituatie, waarin alle indices gelijk aan 100 zijn.

$$Nut = \alpha^* \cdot \text{IndexKosten} + \beta^* \cdot \text{IndexTijd} + \delta^* \cdot \text{IndexKans} + \text{overige termen}$$

$$Nut_0 = 100 \cdot (\alpha^* + \beta^* + \delta^*) + \text{overige termen}$$

Vervolgens beschouwen we een nieuwe situatie, waarin de kans om niet-op-tijd te komen met 10% is afgenomen (index = 90). Het nutverschil met de basissituatie Nut_0 is gelijk aan $10 \cdot \delta^*$. Dit nutsverschil is equivalent met een verbetering van de reistijd van 2.7% (dit volgt uit de verhouding van δ^* en β^*).

Laten we deze zelfde vergelijking eens maken gebruik makend van de alternatieve nutsfunctie:

$$Nut = \alpha \cdot K + \beta \cdot T + \gamma \cdot \sigma + \text{overige termen}$$

Bij de standaardwaarde van de kans om niet-op-tijd te komen (5%) hoort een standaarddeviatie van $0.308 \cdot \Delta L$ (gebruik makend van $\sigma = \Delta L \cdot \sqrt{[2P \cdot (1-P)]}$). In de verbeterde situatie ($P = 4.5\%$, ofwel een 10% verbetering) geldt $\sigma = 0.293 \cdot \Delta L$. Oftewel, de verbetering van het nut is $0.015 \cdot \gamma \cdot \Delta L$.

Deze nutsverbetering moet equivalent zijn met een 2.7% verbetering van de reistijd, oftewel aan $0.027 \cdot \beta \cdot T_0$. Het gelijkstellen van beide nutsverbeteringen levert een reliability ratio op (gebruikmakend van $\Delta L/T_0 = 0.05$):

$$\gamma / \beta = 0.027 \cdot T_0 / 0.015 \cdot \Delta L = 35.9$$

Deze waarde is zelfs nog hoger dan hierboven: ongeveer tweemaal zo groot als in de sectie Binomiale verdeling (1).

Voor de compleetheit is de RR ook voor andere waarden van P berekend:

P ₀	RR
1 %	75.5
3 %	44.9
5 %	35.9
8 %	29.8
10 %	27.6
15 %	24.9
20 %	24.1
25 %	24.7
30 %	26.7

Optimalisatie buffertijd

De nutsfuncties zoals die hierboven gebruikt zijn, lijken incompleet aangezien er geen penalty tegen het vervroegen van de vertrektijd is (en daarmee het verlagen van de kans om niet-op-tijd te komen, waarbij er vanuit gegaan wordt dat de kans niet-op-tijd eigenlijk een kans niet-te-laat is). Je zou dit kunnen oplossen door een extra term in de nutsfunctie op te nemen met de buffertijd BT:

$$\text{Nut} = \alpha \cdot K + \beta \cdot T + \varepsilon \cdot BT + \delta \cdot P(BT) + \text{overige termen}$$

Uit nuts optimalisatie (met als parameter de buffertijd) volgt:

$$0 = \partial \text{Nut} / \partial BT = \varepsilon + \delta \cdot \partial P(BT) / \partial BT$$

Voor een Gaussische verdeling geldt voor de kans om te-laat¹⁶ te komen:

$$(1 - 2 \cdot P_{\text{TeLaat}}) = \text{erf}(BT / (\sigma\sqrt{2}))$$

$$P_{\text{TeLaat}} = \frac{1}{2} \cdot (1 - \text{erf}(BT / (\sigma\sqrt{2})))$$

$$\partial P(BT) / \partial BT = -\frac{1}{2} \cdot \text{Gauss}(BT; \sigma)$$

Dus de optimale buffertijd wordt bereikt als:¹⁷

¹⁶ Let op: we zijn hier subtiel overgestapt van de kans om niet-op-tijd te komen naar een kans om te-laat te komen.

$$BT^2 = -2\sigma^2 \cdot \ln(2 \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot \varepsilon / \delta)$$

Nu weten we dat dezelfde optimale waarde van de standaarddeviatie bereikt wordt wanneer de alternatieve nutsfunctie gehanteerd wordt:

$$\text{Nut} = \alpha \cdot K + \beta \cdot T + \varepsilon \cdot BT + \gamma \cdot \sigma + \text{overige termen}$$

Hierbij wordt er vanuit gegaan dat ε ongeveer gelijk is aan β (waardering reistijd = waardering wachttijd die ontstaat omdat men te vroeg arriveert). Mogelijk is ε iets kleiner dan β . De buffertijd zal een functie zijn van de standaarddeviatie: $BT = BT(\sigma)$, maar je kunt dit ook inverteren $\sigma = \sigma(BT)$:

Uit nutsoptimalisatie (met als parameter de buffertijd) volgt:

$$0 = \partial \text{Nut} / \partial BT = \gamma + \varepsilon \cdot \partial \sigma(BT) / \partial BT$$

Een mogelijke functionele vorm voor de functie $BT(\sigma)$ kan afgeleid worden door aan te nemen dat een vervoerder/verlader de kans om te laat te komen constant zal willen houden.¹⁸ Voor een Gaussische verdeling geldt voor de kans om te laat te komen:

$$(1 - 2 \cdot P_{\text{TeLaat}}) = \text{erf}(BT(\sigma) / (\sigma \sqrt{2}))$$

Inverteren levert:

$$BT(\sigma) = \sigma \cdot \sqrt{2} \cdot \text{erf}^{-1}(1 - 2 \cdot P_{\text{TeLaat}})$$

en voor $P_{\text{TeLaat}} = 5\%$ geldt: $BT(\sigma) = 1.65 \cdot \sigma$, of $\sigma(BT) = 1.65 / BT$.

Uit het voorafgaande volgt:

$$\partial \sigma(BT) / \partial BT = -1.65 / BT^2$$

en dus

$$0 = \partial \text{Nut} / \partial BT = \gamma + \varepsilon \cdot \partial \sigma(BT) / \partial BT = \gamma - 1.65 \cdot \varepsilon / BT^2$$

$$BT^2 = 1.65 \cdot \varepsilon / \gamma$$

(let op: zowel ε als γ zijn negatief).

Deze BT^2 kan in principe gelijk gesteld worden aan de eerder gevonden uitdrukking voor BT^2 , en vervolgens kan γ/ε worden opgelost ($=\beta/\varepsilon$), echter in deze uitdrukking komt ook een factor σ_0 / T_0 voor (net als in de uitdrukking die gebruikt is in het hoofddeel van dit rapport) dus hier zal een aanname voor gedaan moeten worden. Verder moet er ook meer bekend zijn voor de waarde van σ om tot een uiteindelijke waarde te komen (en deze is niet bekend).

¹⁷ Let op: ε en δ zijn beide negatief. De term waarvan de logaritme wordt getrokken, moet dus kleiner dan 1 zijn, anders is er geen oplossing mogelijk. ε / δ is (ongeveer) gelijk aan β / δ , en deze is gelijk aan $\beta \cdot T_0 / (\delta \cdot \sigma_0)$.

¹⁸ Je moet dus aannemen dat tijdens het SP onderzoek respondenten een verandering in de kans om niet-optijd te komen hebben vertaald in een andere buffertijd.

Appendix B: Extra Tabellen uit Hoofdonderzoek

Wegtransport

Kans om niet "op tijd" te komen

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.00	24	12.4	19.2	19.2
	1.00	13	6.7	10.4	29.6
	2.00	11	5.7	8.8	38.4
	3.00	1	.5	.8	39.2
	4.00	1	.5	.8	40.0
	5.00	35	18.0	28.0	68.0
	10.00	15	7.7	12.0	80.0
	15.00	2	1.0	1.6	81.6
	20.00	8	4.1	6.4	88.0
	25.00	2	1.0	1.6	89.6
	30.00	2	1.0	1.6	91.2
	35.00	2	1.0	1.6	92.8
	45.00	1	.5	.8	93.6
	50.00	4	2.1	3.2	96.8
	90.00	1	.5	.8	97.6
	100.00	3	1.5	2.4	100.0
	Total	125	64.4	100.0	
Missing	-1.00	69	35.6		
Total		194	100.0		

Tabel B.1: Aantal transporten dat niet op tijd of niet binnen het tijdvenster arriveert. Mediaan is gearceerd

	Gemiddelde vertraging											Total
	0	10	15	30	45	60	360	480	720	1440	1441	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
60	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	4
75	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
90	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
120	1	0	0	3	1	3	0	0	0	0	0	8
180	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
240	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
300	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
360	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
420	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
480	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	0	6
540	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
720	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1440	1	0	0	0	0	1	0	0	0	6	0	8
1441	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
2160	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2880	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2881	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	4	1	1	5	3	13	2	1	2	9	4	45

Tabel B.2: Grootte van het tijdvenster en de gemiddelde vertraging voor alle transporten die binnen een tijdvenster moeten arriveren waarvoor gemiddelde vertraging bekend is. Alle 18 transporten waarvoor gemiddelde vertraging groter of gelijk is aan de grootte van het tijdvenster zijn gearceerd. Let op dat alleen van 45 van de 59 transporten bekend is wat de omvang van het tijdvenster is en wat de gemiddelde vertraging is.

Kans om niet “op tijd” te komen

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.00	10	11.9	11.9	11.9
	1.00	9	10.7	10.7	22.6
	2.00	8	9.5	9.5	32.1
	3.00	1	1.2	1.2	33.3
	4.00	1	1.2	1.2	34.5
	5.00	26	31.0	31.0	65.5
	10.00	10	11.9	11.9	77.4
	20.00	7	8.3	8.3	85.7
	25.00	2	2.4	2.4	88.1
	30.00	2	2.4	2.4	90.5
	35.00	2	2.4	2.4	92.9
	45.00	1	1.2	1.2	94.0
	50.00	4	4.8	4.8	98.8
	100.00	1	1.2	1.2	100.0
	Total	84	100.0	100.0	

Tabel B.3: idem als tabel B.1 maar nu alleen voor transporten die op een bepaald tijdstip moeten arriveren, of die een tijdvenster hebben maar met een gemiddelde vertraging groter of gelijk aan de omvang van het tijdvenster. De mediaan is gearceerd.

Overige modaliteiten

Kans om niet "op tijd" te komen

	MODE				Total
	Spoor	Binnenvaart	Zeevaart	Luchtvaart	
DELAY .00	6	12	11	4	33
1.00	4	1	6	4	15
2.00	3	2	9	3	17
3.00	0	3	3	1	7
4.00	1	0	3	1	5
5.00	1	4	10	6	21
6.00	0	0	0	1	1
8.00	0	5	11	1	17
9.00	1	0	0	0	1
10.00	3	5	5	3	16
12.00	0	0	1	0	1
15.00	3	0	2	4	9
20.00	2	1	3	2	8
25.00	1	1	0	1	3
27.00	0	0	1	0	1
30.00	1	0	2	0	3
40.00	0	0	0	1	1
45.00	1	0	0	0	1
50.00	1	0	0	0	1
100.00	0	0	1	1	2
Total	28	34	68	33	163

Tabel B.4: Aantal transporten dat niet op tijd of niet binnen het tijdvenster arriveert. Mediaan voor elke modaliteit is gearceerd

	Gemiddelde vertraging																				
	0	30	60	120	180	240	300	360	420	480	600	720	1080	1440	2160	2880	4320	6480	9720	14580	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
120	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
240	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
361	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
421	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
481	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
601	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
720	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
721	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1441	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	10	0	3	0	0	1	0	0
2881	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0
4321	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
5760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
20401	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
30001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
43201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
90001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabel B.5: Grootte van het tijdvenster en de gemiddelde vertraging voor alle transporten die binnen een tijdvenster moeten arriveren waarvoor gemiddelde vertraging bekend is. Alle 14 transporten waarvoor gemiddelde vertraging groter of gelijk is aan de grootte van het tijdvenster zijn gearceerd. Let op dat alleen van 59 van de 72 transporten bekend is wat de omvang van het tijdvenster is en wat de gemiddelde vertraging is.

Kans om niet "op tijd" te komen

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.00	20	19.0	19.0	19.0
	1.00	11	10.5	10.5	29.5
	2.00	10	9.5	9.5	39.0
	3.00	5	4.8	4.8	43.8
	4.00	4	3.8	3.8	47.6
	5.00	16	15.2	15.2	62.9
	8.00	13	12.4	12.4	75.2
	10.00	9	8.6	8.6	83.8
	15.00	7	6.7	6.7	90.5
	20.00	4	3.8	3.8	94.3
	25.00	2	1.9	1.9	96.2
	27.00	1	1.0	1.0	97.1
	30.00	1	1.0	1.0	98.1
	50.00	1	1.0	1.0	99.0
	100.00	1	1.0	1.0	100.0
	Total	105	100.0	100.0	

Tabel B.6: idem als tabel B.1 maar nu alleen voor transporten die op een bepaald tijdstip moeten arriveren, of die een tijdvenster hebben maar met een gemiddelde vertraging groter of gelijk aan de omvang van het tijdvenster. De mediaan is gearceerd. Vanwege de geringe aantallen was het niet mogelijk om deze tabel per modaliteit weer te geven.