

Erfassung des Indikators Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrs- wegeplanung: Schlussbericht

Erstellt für: Bundesministerium
für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung

SIGNIFICANCE, GOUDAPPEL COFFENG
UND NEA

PROJEKT-NR 96.0973/2011

Mai 2012

Inhalt

1. Hintergrund, Zielsetzung und Leistungsumfang	7
1.1. Hintergrund.....	7
1.2. Zielsetzung.....	9
1.3. Leistungsumfang.....	9
2. Literaturrecherche zur Definition von Zuverlässigkeit.....	11
2.1 Breitere Definitionen von Zuverlässigkeit im Verkehrswesen.....	11
2.2 Spezifische Definitionen von Zuverlässigkeit im Verkehrswesen.....	12
2.3 Operative Definitionen der Zuverlässigkeit der Reisezeit in der in der Bewertung und in Transportmodellen	14
2.3.1 Theorie des Mean-Dispersion-Modells und des Scheduling-Modells.....	19
2.3.2 Die Behandlung der Reisezeitunzuverlässigkeit in bestehenden Bewertungsstudien (P-Seite; Preisseite).....	22
2.3.3 Die Behandlung der Reisezeitunzuverlässigkeit in bestehenden Transport-Modellen (Q-Seite/Mengenseite)	24
2.3.4 Die Behandlung der Reisezeitunzuverlässigkeit in der existierenden Nutzen-Kosten-Analyse (P*Q)	25
2.4 Spezifische Definitionen für den öffentlichen Verkehr	29
2.5 Spezifische Definitionen für die Binnenschifffahrt	30
2.6 Abgrenzung von Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und Robustheit	32
3. Interviews	37
3.1 Überblick.....	37
3.2 Interviews Straßenverkehr	38
3.3 Interviews Schienenverkehr	42
3.4 Zusammenfassung Interviews Güterverkehr Straße und Bahn	44
3.5 Interviews Binnenschifffahrt.....	45
3.6 Verkehrsmittelwahl	51
3.7 Interviews Geschäftsverkehr	52
4. NKA im Rahmen der BVWP in Deutschland	55
4.1. Hintergrund.....	55
4.2. Was ist eine Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)?.....	55
4.3. Gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik des BVWP 2003	56
4.4. Methodische Grundsätze NKA in Deutschland.....	57

5. Literatur zur Bewertung von Zuverlässigkeit	67
5.1 Methoden zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Personenverkehr.....	67
5.2 Methoden zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Güterverkehr	82
5.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	86
6. Literatur zum Thema Zuverlässigkeit in Transportmodellen und Folgen von Maßnahmen auf Zuverlässigkeit.....	89
6.1 Unterschiedliche Konzepte zur Zuverlässigkeit von Verkehrsmodellen	89
6.2 Zuverlässigkeit in Verkehrsmodellen	93
6.3 Folgen von Maßnahmen auf Zuverlässigkeit.....	107
6.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	111
7. Expertenrunde 1: Definition, Bewertung und Transportmodellen	113
7.1 Definition von Zuverlässigkeit.....	113
7.2 Bewertung von Zuverlässigkeit	118
7.3 Zuverlässigkeit in Transportmodellen.....	121
8. Expertenrunde 2: Anwendung im deutschen Kontext.....	125
8.1 Ist eine Integration der Zuverlässigkeit in den nächsten 2-3 Jahren möglich? .	126
8.2 Empfehlungen für die Bewertung.....	128
8.3 Einbeziehung von Zuverlässigkeit in Verkehrsmodelle in Deutschland.....	130
8.3.1 Das geeignetste Maß für die Zuverlässigkeit.....	130
8.3.2 Datenbedarf	132
8.3.3 Prognose der Zuverlässigkeit.....	135
8.3.4 Einfluss von Infrastrukturprojekten auf die Zuverlässigkeit.....	138
9. Synthese von Ergebnissen aus der Literaturanalyse und Expertenbefragung	141
9.1 Definition von Zuverlässigkeit.....	141
9.2 Empfehlungen für die Q-Seite und die P-Seite	143
9.2.1 Drei Methodiken: Leicht durchführbare Ansatz, mittelfristiger Ansatz, Idealansatz.....	144
9.2.2 Methodik 1: Am wenigsten umfassend – am einfachsten machbar....	146
9.2.3 Methodik 2: Mittelfristige Lösung.....	173
9.2.4 Methodik 3: Idealtypisches Verfahren.....	176
9.3 Schlussfolgerungen.....	180
Referenzen	183
Annex 1. Teilnehmerliste Interviews Straße/Schiene.....	215
Annex 2. Teilnehmerliste Interviews Binnenschifffahrt	217
Annex 3. Fragen zu den Experten in Email-Runde 1.....	219
Annex 4. Antworten der Experten in Email-Runde 1	221

Annex 5. Fragen an den Experten und Antworten der Experten in Email-Runde 2	245
Annex 6. Protokoll Expertentreffen 29.11.2011 in Berlin	267
Annex 7. Einige Beispiele von SP Fragebogen mit Zuverlässigkeit.....	303
Annex 8. Vorschläge zur SP/RP Erhebung zum Thema Bewertung von Reisezeit und Zuverlässigkeit	307

Abkürzungsverzeichnis

EUT	Expected Utility Theory
GJT	Generalized journey time: generalisierte Fahrzeit
JiT	Just in time
NKA	Nutzen- Kosten-Analyse
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PAT	Preferred arrival time: Bevorzugte Ankunftszeit
RP-Daten	Revealed Preference Daten
SP-Daten	Stated Preference Daten
VoR oder VTTR	Value of Reliability: Zuverlässigkeitswert
VoT oder VTTS	Value of Time: Zeitkostensatz

1. Hintergrund, Zielsetzung und Leistungsumfang

1.1. Hintergrund

Wie in vielen anderen Ländern werden in Deutschland die Anträge für neue Infrastrukturprojekte (z.B. eine neue Straße oder Eisenbahnstrecke, Straßenerweiterung, neue Kanäle oder Schleusen) a priori mit Hilfe von Nutzen-Kosten-Analysen bewertet. In einer solchen Analyse stellen häufig die Zeitersparnisse, die den Reisenden, Verladern und Transportunternehmen durch das Infrastrukturprojekt üblicherweise zugutekommen, einen der größten Nutzengewinne dar. Die Nutzen müssen dann den Investitionskosten gegenübergestellt werden. Zur Ermittlung des Nutzens aus Zeitersparnissen werden diese (in Minuten oder Stunden) als Vorhersagen aus Transportmodellen abgeleitet, indem ein Bezugsfall ohne Projekt mit dem Planfall verglichen wird. Anschließend werden die Zeitersparnisse in Geldeinheiten umgewandelt, wobei offizielle Zeitkostensätze zur Bewertung von Reisezeiteinsparungen (Values of Travel Time Savings, VTTS) auch Zeitkostensätze genannt (Values of Time, VoT), verwendet werden.

Zahlreiche Transportprojekte und verkehrspolitische Maßnahmen beeinflussen jedoch nicht nur die durchschnittliche Reisezeit¹, sondern auch ihre Verteilung. Die durchschnittliche Reisezeit kann so definiert werden, dass auch erwartete Verspätungen einberechnet werden. Unerwartete Verspätungen werden jedoch fast nirgendwo auf der Welt systematisch berücksichtigt und führen zu Abweichungen der Reisezeit. Unerwartete Verspätungen können durch Staus und andere Faktoren, wie schlechtes Wetter, Unfälle, Fahrzeugpannen oder Unzuverlässigkeit von öffentlichen Verkehrsmitteln verursacht werden. Es lassen sich zwei Arten von unerwarteten Verspätungen unterscheiden, nämlich zum einen die zufälligen, alltäglichen Schwankungen, welche die Dauer von solchen Fahrten beeinflussen können, die jeden Tag zur gleichen Zeit unternommen werden. Zum anderen lassen sich die gelegentlichen enormen Verspätungen als Folge von besonderen Vorfällen anführen. Wenn also ein Pkw-Nutzer eine Fahrt in Erwägung zieht, muss nicht nur die erwartete durchschnittliche Reisezeit, sondern auch ihre Variabilität berücksichtigt werden, die z.B. durch die Standardabweichung der Reisezeitverteilung

¹ In diesem Bericht werden sowohl Reisezeit (Personenverkehr) als auch Transportzeit (Güterverkehr) betrachtet. Vereinfachend wird im gesamten Bericht aber nur von Reisezeit gesprochen.

quantifiziert werden kann. Wenn der Fahrer das Risiko des Zuspätkommens am Zielort verkleinern will, so muss er eher mit mehr als der durchschnittlichen Reisezeit rechnen. Monetäre Werte für die Zuverlässigkeit von Reisezeiten (Values of Reliability, VoR) beziehen sich auf die Verminderung von unerwarteten Verspätungen.

Der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems wird in Deutschland eine hohe wirtschaftliche Bedeutung eingeräumt, siehe "Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme" (Wissenschaftlicher Beirat für Verkehr, Ahrens, et al., 2009):

"Die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems muss deshalb ein wesentliches Ziel der Verkehrspolitik, der Verkehrsplanung und des Managements aller beteiligten Teilsysteme sein. Die Zuverlässigkeit der Transportwege stellt einen beträchtlichen ökonomischen Wert dar. Jede nicht kalkulierte Verlängerung der Reise- und Transportzeiten verursacht zusätzliche Betriebs- und Zeitkosten für die Verkehrsteilnehmer und damit Kostensteigerungen für Produkte und Dienstleistungen. Der Nachteil einer unerwarteten beträchtlichen Verspätung wiegt meistens schwerer als die durchschnittlichen Zeitkosten für diese Dauer, weil oft durch die unerwartet verlorene Zeit ganze nachfolgende Aktivitätenketten der Reisenden oder Tourenkombinationen der Transporteure gestört oder verhindert werden. Schon allein das Risiko, eine erheblich längere Fahrzeit zu erleiden, bedingt einen Schaden, weil es z.B. von Firmen höhere Lagerhaltung oder aufwändigere Produktionsprozesse verlangt. Ein wirtschaftlicher Schaden entsteht auch dadurch, dass im Falle eines großen Verspätungsrisikos Fahrten eher angetreten werden, ohne dass diese zusätzliche Zeit planbar genutzt werden kann, sofern die Verspätung nicht eintritt."

In Bezug auf Zuverlässigkeit wird die meiste Beachtung dem Zuspätkommen geschenkt. Allerdings verursacht auch eine vorzeitige Ankunft Kosten, z.B. Warten auf den Termin am Zielort. Unerwartete Verspätungen beim Personenverkehr verursachen Kosten aufgrund von verlängerten Wartezeiten, Stress bei den Reisenden, verpasste Anschlüsse im öffentlichen Verkehr, verpasste Termine, und negative Effekte auf den effizienten Geschäftsablauf. Um die Wahrscheinlichkeit des Zuspätkommens zu vermindern, planen die Reisenden zur Sicherheit zusätzlich Zeit für ihre Reise ein (sogenannte Pufferzeiten). Zu den Folgen von unerwarteten Verspätungen beim Güterverkehr zählen verpasste Anschlüsse, Wartezeiten und verpasste Gelegenheiten um JiT (Just-in-Time) bei der Warendistribution, Produktion und Lagerhaltung anzuwenden.

Nach der Implementierung eines Infrastrukturprojekts werden die Reisezeiten kürzer und häufig auch berechenbarer, z.B. da die neue Kapazität für die Nachfrage ausreicht, so dass Staus verschwinden und ein ungehinderter Verkehrsfluss (free-flow) zu beobachten ist. Der Verkehrsablauf selbst ist zwar nicht Bestandteil des Nutzens, den Individuen und Firmen aus dem Transport ziehen, jedoch die resultierende Reisezeit und die Zuverlässigkeit der Reisezeit. Empirische Untersuchungen in verschiedenen Ländern legen die Vermutung nahe, dass Reisende, Verlager und Transportunternehmen einer Zunahme der Zuverlässigkeit der Reisezeit eine beachtliche Wertschätzung einräumen. Ein Komitee für das britische Verkehrsministerium (SACTRA, 1999) kam zu der Schlussfolgerung, dass der wirtschaftliche Nutzen von Investitionsvorhaben für das Fernstraßennetz um 5-50% unterschätzt wird, wenn die Reisezeitvariabilität außer Acht gelassen wird. Dies bezieht sich auf die Veränderung, die durch ein bestimmtes Transportprojekt verursacht wird und errechnet sich aus dem Produkt aus dem Maß an Unzuverlässigkeit und dem monetären Wert für Unzuverlässigkeit. Ein weiterer internationaler Review (de Jong et al., 2004) stellte fest, dass sämtliche Studien zur Bewertung

von Verlässlichkeit, die analysiert worden waren, einstimmig Zuverlässigkeit als Faktor von **erheblicher Wichtigkeit** ansehen: Keine der Studien kam zu dem Schluss, dass Zuverlässigkeit ignoriert werden kann. Eine Marktumfrage unter den Kunden des Kombinierten Verkehrs hat aufgezeigt, dass Zuverlässigkeit für die Marktteilnehmer das wichtigste Entscheidungskriterium ist, aber dass bei der Beurteilung der von den Anbietern erbrachten Leistung durch den Kunden Zuverlässigkeit auf Platz 8 landet: das Angebot ist also unzuverlässig obwohl die Kunden Zuverlässigkeit ganz wichtig finden (DVZ, 2011)

Veränderungen in der Zuverlässigkeit von Reisezeiten werden in der Standardbewertung von Infrastrukturprojekten und verkehrspolitischen Maßnahmen in Deutschland, wie in den meisten übrigen Ländern, nicht berücksichtigt. Sommer et al. (2005) kamen zu dem Schluss, dass zum damaligen Zeitpunkt in keinem EU Land Unzuverlässigkeit als Kostenursache einbezogen wurde. Heutzutage integrieren die Niederlande sowie Schweden (provisorische) Zuverlässigkeitseffekte in einige Nutzen-Kosten-Analysen. In verschiedenen Ländern (darunter die Niederlande, Großbritannien, Schweden, Norwegen und Dänemark) werden gegenwärtig die Möglichkeiten untersucht, um offizielle nationale Werte von Zuverlässigkeit für den Gebrauch in Nutzen-Kosten-Analysen aufzustellen.

1.2. Zielsetzung

Bis zum Jahr 2015 wird das BMVBS an der Entwicklung eines neuen Bundesverkehrswegeplans (BVWP) arbeiten. Dies schließt Nutzen-Kosten-Analysen bezüglich neuer Infrastrukturprojekte oder Veränderungen bereits bestehender Infrastruktur ein (Neubau, Ausbau und infrastrukturelle Investitionen in Verkehrsflusssteuerung, aber nicht betriebliche Veränderungen). Das BMVBS ist an einer Einschätzung interessiert, ob es möglich wäre, Nutzengewinne aus Zuverlässigkeit in die Bewertung einfließen zu lassen. Dies wird im Rahmen dieser Vorstudie untersucht.

Zielsetzung dieser Vorstudie ist es (gemäß BMVBS, 2011):

Die Möglichkeiten zu untersuchen, um im Zusammenhang mit dem BVWP in Deutschland die Zuverlässigkeit von Transportzeiten in die Nutzen-Kosten-Analyse von Infrastrukturprojektanträgen aufzunehmen.

Ergebnis dieser Vorstudie soll die Entwicklung eines konkreten Verfahrens sein, so dass in einer späteren Studie direkt einerseits die Ermittlung des Mengen- und ggf. Wertgerüsts und andererseits die EDV-seitige Umsetzung durchgeführt werden kann. Im Rahmen der Vorstudie werden die weiteren Arbeitsschritte und der damit verbundene Aufwand für eine Implementierung dieses Indikators in die Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) definiert.

1.3. Leistungsumfang

Die Untersuchung umfasst folgende Elemente:

- Privatverkehr und Wirtschaftsverkehr
- Die drei im BVWP relevanten Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße.

Folgende Phasen sind Gegenstand der Untersuchung:

- 1) Definition von Zuverlässigkeit, wobei der Forderung Rechnung getragen wird, dass Nutzengewinne durch Zuverlässigkeit bei Infrastrukturprojekten in der Nutzen-Kosten-Rechnung bewertet werden müssen; dies erfordert im Gegenzug,
 - a. dass ein monetärer Wert für Zuverlässigkeit bestimmt werden kann. Wir nennen dies die „P-Seite (P = price, Preis) der Zuverlässigkeit“,
 - b. dass der Effekt von Infrastrukturprojekten auf die Zuverlässigkeit vorhergesagt werden kann, ebenso wie die Effekte auf die Nachfrage von Seiten der Netzwerknutzer als Reaktion auf Veränderungen der Zuverlässigkeit. Wir nennen dies die „Q-Seite (Q = Quantity, Nachfragemenge) der Zuverlässigkeit. In der Nutzen-Kosten-Analyse haben wir dann $P*Q$. In der Definitionsphase der Studie werden wir außerdem untersuchen, welche Auffassung von Zuverlässigkeit der Güterverkehrssektor hat, wobei ca. 50 Verlader und Transportunternehmen interviewt werden.
- 2) Analyse von nationaler und internationaler Literatur bezüglich der Berücksichtigung von Zuverlässigkeit in der NKA, sowohl bezüglich der P-Seite als auch der Q-Seite der Zuverlässigkeit.
- 3) Ein Urteil darüber, ob die Berücksichtigung der Zuverlässigkeit von Reisezeiten in der NKA für den BVWP realisierbar wäre. Falls ja, Abgabe von konkreten Empfehlungen zur Implementierung von Zuverlässigkeit in der NKA für den BVWP, inklusive einer Einschätzung des benötigten Zeit- und Geldbudgets.

Kapitel 2 dieses Schlussberichts bezieht sich auf die **Definition** von Zuverlässigkeit (Phase 1) und basiert in hohem Maße auf der Analyse von nationaler und internationaler Literatur zur Zuverlässigkeit von Reisezeiten. Wir haben die relevante Literatur recherchiert und die Definitionen von Zuverlässigkeit analysiert.

Eine zweite Informationsquelle zu Definitionen, die in der Praxis verwendet werden, sind Interviews, die wir mit Firmen bezüglich Geschäftsreisen und (vorwiegend) Güterverkehr durchgeführt haben (siehe Kapitel 3).

Kapitel 4 enthält eine Übersicht der Verwendung von NKA für den BVWP in Deutschland. In Kapitel 5 (P-Seite) und 6 (Q-Seite) folgen die Ergebnisse der Analyse der nationalen und internationalen Literatur, und in Kapitel 7 und 8 die Ergebnisse der ersten und zweiten Runde von Expertenbefragungen. In diesem Projekt gab es auch ein Expertentreffen (am 29.11.2011 in Berlin); das Protokoll ist im Annex 6 aufgeführt. Eine Synthese und unsere Empfehlungen für den BVWP folgen in Kapitel 9.

2. Literaturrecherche zur Definition von Zuverlässigkeit

Die Literaturrecherche bezüglich der Definition von Zuverlässigkeit beschränkt sich nicht allein auf akademische Journals. Wir untersuchten außerdem, welche Definitionen in der Praxis in der NKA in verschiedenen Ländern, die Zuverlässigkeit berücksichtigen wollen (siehe Kapitel 1), verwendet werden. In den Niederlanden wird zum Beispiel die Standardabweichung der Reisezeit verwendet, da dieses Maß leichter in die nationalen und regionalen Verkehrsprognosemodelle integriert werden kann (de Jong et al., 2009).

Die Definitionen von Zuverlässigkeit oder Unzuverlässigkeit in der Transport-Literatur lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- Breitere Definitionen von (Un-) Zuverlässigkeit;
- Maßgeschneiderte (spezifische) Definitionen, besonders von (Un-) Zuverlässigkeit von Reisezeiten;
- Operative Definitionen zum Messen und/oder Bewerten von (Un-) Zuverlässigkeit.

2.1 Breitere Definitionen von Zuverlässigkeit im Verkehrswesen

Breitere Definitionen von Zuverlässigkeit lassen sich aus dem alltäglichen Wortgebrauch ableiten. Bei diesen Definitionen von Zuverlässigkeit (z. B. Berdica, 2002, Hilbers und Blijie, 2003, Peeters et al., 1998, Rietveld, 2003), geht es um das Einhalten von zuvor vereinbarten Absprachen oder dem Gerechtworden von Erwartungen.

Ein Beispiel ist die Definition, die von der OECD-Arbeitsgruppe (OECD, 2010) verwendet wurde. Dabei wird Zuverlässigkeit (in Bezug auf den Bodentransport) folgendermaßen definiert:

*The ability of the transport system to provide the expected level of service quality, on which users have organized their activities.*²

Diese Definition zeigt, dass die Zuverlässigkeit im Verkehr:

- etwas mit den Erwartungen und Abweichungen von den Erwartungen zu tun hat,

² "Die Fähigkeit des Transportsystem die erwartete Service-Qualität zu liefern, auf die die Nutzer ihre Aktivitäten abgestimmt haben."

- dass es zum einen Nutzer (Reisende, Firmen im Güterverkehr) gibt, die bestimmte Erwartungen haben, zum anderen, dass es eine Angebotsseite gibt, die den Transport von einer bestimmten Service-Qualität anbietet, und
- dass die Abweichungen Konsequenzen für die Organisation der Aktivitäten von Personen und Firmen haben.

Gemäß einer derart weiten Definition kann sich Zuverlässigkeit auf eine Vielzahl von Komponenten des Reise- bzw. Transportvorgangs beziehen, z.B. neben der Reise- bzw. Transportzeit auch auf den Preis, den Komfort, die Sicherheit oder die Kapazität. Für die Verwendung im Rahmen der NKA für den BVWP ist eine derart weite Definition schwer zu handhaben. Ein zusätzlicher Nutzen aus der Zuverlässigkeit der einzelnen Komponenten ist teilweise schwer zu quantifizieren, hat nur marginale Bedeutung oder ist schwer von dem zum Teil bereits in der Bewertung enthaltenen Nutzen der Komponente selbst abzugrenzen (z.B. Zeitersparnisse, Transportkostensparnisse). Dies birgt grundsätzlich die Gefahr von Doppelbewertungen. In der NKA sollte daher nur die Berücksichtigung der Zuverlässigkeit solcher Komponenten verfolgt werden, die einen erheblichen zusätzlichen Nutzenbeitrag erwarten lassen und die durch die zu bewertenden Infrastrukturmaßnahmen maßgeblich beeinflusst werden.

Im Personenverkehr ist die zeitliche Komponente für die Zuverlässigkeit maßgeblich. Im Güterverkehr - explizit bei der Wasserstraße - wird außerdem ein zusätzlicher Nutzen durch die Zuverlässigkeit der Komponente Kapazität generiert.

2.2 Spezifische Definitionen von Zuverlässigkeit im Verkehrswesen

Bei den spezifischen Definitionen in der Transportliteratur geht es bei der Zuverlässigkeit fast immer um die Zuverlässigkeit von Reisezeiten.³ Ein Beispiel einer mehr spezifischeren aber auch noch ziemlich breiten Definition ist Hellinga (2011):

*Reliability is defined as the consistency with which the trip maker's actual trip travel time matches the trip maker's expected trip travel time.*⁴

In Bezug auf den Personenverkehr werden Definitionen, die den Fokus auf Reisezeiten legen, für dieses Forschungsprojekt als wichtiger betrachtet als allgemeine Definitionen der Zuverlässigkeit im Verkehr. Die spezifischen Definitionen von (Un-) Zuverlässigkeit in der Literatur, umfassen folgende Elemente:

³ Eine Ausnahme ist Jonkeren (2009), der die Zuverlässigkeit der operativen Kapazitäten von einem Binnenschiff in Verbindung mit den Wasserständen betrachtet. Diese Problematik der Zuverlässigkeit in der Binnenschifffahrt werden wir gesondert in Abschnitt 3.2 diskutieren.

⁴ Zuverlässigkeit wird definiert als der Grad der Übereinstimmung zwischen der tatsächlichen Reisezeit eines Reisenden mit seiner erwarteten Reisezeit.

- Es geht um die Abweichung der tatsächlichen Reisezeit von der erwarteten Reisezeit (das ist nicht unbedingt die unbehinderte oder „free flow“ Reisezeit; Reisende müssen mit wiederkehrenden Staus rechnen).
- Sowohl die Häufigkeit dieser Abweichung als auch ihr Ausmaß sind wichtig.
- Die Folgen dieser Abweichungen von den Erwartungen sind einerseits das verfrühte oder verspätete Ankommen (früher oder später als erwartet) und andererseits eine frühere Abreise als nach der erwarteten Reisezeit nötig, um mit höherer Sicherheit rechtzeitig anzukommen. Möglicherweise gehört zu den Folgen der Abweichungen auch der Stress der Unsicherheit an sich.

Diese Definitionen betonen, dass es bei der Unzuverlässigkeit der Reisezeiten um die Variabilität dieser Zeiten geht: Manchmal ist eine Reise kurz, ein anderes Mal dauert dieselbe Reise viel länger. Auf einer Strecke oder in einem Netzwerk, wo die Reisezeit länger als beim ungehinderten Verkehrsfluss (free flow) ist, aber wo durchweg die gleiche Reisezeit gemessen wird, ist keine Rede von Unzuverlässigkeit. Unzuverlässigkeit ist demnach auch kein Synonym für Staus: ein Netzwerk, in dem sich der Verkehr immer staut, kann dennoch zuverlässig sein, da die Nutzer stets mit den gleichen langen Reisezeiten rechnen können (siehe auch OECD, 2010). In diesem Fall entstehen hohe soziale Kosten in Bezug auf die Reisezeitverluste, aber keine Verluste in Bezug auf die Zuverlässigkeit.

Bei Unzuverlässigkeit geht es um variierende Reisezeiten, wobei noch unterschieden werden muss zwischen Situationen, in denen die Nutzer wissen, wie groß diese Variabilität ist (z.B. bei wiederkehrenden Ereignissen, wie täglichen Staus) und Situationen, in denen die Wahrscheinlichkeit oder das Ausmaß der Verzögerung ist nicht einzuschätzen ist (nicht wiederkehrende Ereignisse wie Verkehrsunfälle). Im ersten Fall können sich Reisende und Transportunternehmen dazu entscheiden, Verzögerungen durch eine frühere Abreise (eine Pufferzeit) zu vermeiden. In der zweiten Situation gibt es kaum Strategien, die den Netzwerk-Nutzern offen stehen; sie könnten sich höchstens mithilfe von sehr großen Pufferlagern und Pufferzeiten (was beides kostspielig ist) absichern.

Mögliche Ursachen von Unzuverlässigkeit der Reisezeit (d.h. Abweichungen von der erwarteten Fahrzeit) sind:

- Die Nutzer selbst (Nachfrageseite), die Staus verursachen indem eine zu große Zahl von Nutzern gleichzeitig von der gleichen Verbindung Gebrauch machen will (oder bestimmte Verhaltensweisen, die zu Störungen führen, wie scharfes Bremsen, häufige Spurwechsel und das Ziehen der Notbremse im Zug).
- Die Angebotsseite, darunter externe Störungen: Baustellen, Straßen-, Bahn- und Schiffsunfälle, Unwetter, Erdbeben, Überschwemmungen, Niedrigwasser (bei der Binnenschifffahrt), terroristische Anschläge.

2.3 Operative Definitionen der Zuverlässigkeit der Reisezeit in der in der Bewertung und in Transportmodellen

Bezüglich der engeren Definitionen von Zuverlässigkeit in der Bewertung und in Transportmodellen lassen sich generell zwei Hauptgruppen von in der Literatur gebräuchlichen Definitionen unterscheiden:

1. Ein Maß für die Dispersion (Streuung) der Reisezeitverteilung. Dabei können die Reisezeiten, die während einer bestimmten Zeit (z.B. einer Woche) auf einigen Verbindungen oder Routen zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages auftreten, in einer Verteilung der Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit zusammengefasst werden: die Reisezeitverteilung. Dann kann diese Verteilung unter Verwendung unterschiedlicher spezifischer operationaler Definitionen (Indikatoren, Maße) zusammengefasst werden. Erstens gibt es dann den Mittelwert der Reisezeitverteilung, der jetzt schon mit einbezogen wird in der NKA, mittels die erwartete Zeitersparnisse. Zweitens gibt es dann ein Maß für die Dispersion der Reisezeitverteilung. Zusammen liefert dies die sogenannten **Mean-Dispersion-Modelle**, in denen der Mittelwert und die Dispersion der Reisezeitverteilung beide zu den unabhängigen Variablen gehören. Zu den operationalen Definitionen für die Dispersion der Reisezeitverteilung gehören (siehe auch Tab. 1):
 - Standardabweichung der Reisezeitverteilung (z.B. Copley et al., 2002),
 - Varianz der Reisezeitverteilung,
 - Streubreite der Reisezeitverteilung,
 - Unterschied zwischen dem Perzentil P80, P90 oder P95 der Reisezeitverteilung und dem Durchschnitt (z.B. Brownstone und Small, 2005) und weitere spezifische Maße (d.h. keine allgemeinen statistischen Maße, die auch in anderen Bereichen verwendet werden), die speziell bezogen auf die Reisezeitzuverlässigkeit entwickelt wurden: Puffer-Index, der Planing-Time Index und der Misery Index. Die Zeit, die zusätzlich zur durchschnittlichen Reisezeit eingeplant wird, wird oft Pufferzeit genannt. Die Pufferzeit kann in dem sogenannten Pufferindex als Prozentsatz der durchschnittlichen Reisezeit ausgedrückt werden, um das Maß an Unzuverlässigkeit anzugeben.
2. Unzuverlässigkeit gemessen als die Häufigkeit oder Umfang von Verspätungen (oder zu früh ankommen). Innerhalb diese Gruppe gibt es zwei Untergruppen:
 - Aus Sicht der individuellen Reisenden (oder die Kunden von Gütertransport: die Verloader): die Anzahl von Minuten die jemand (oder eine Lieferung) früher oder später als gewünscht losfährt oder ankommt. Dieses Maß wird auch als Terminverzug oder Schedule-Delay bezeichnet und die Modelle die das verwenden werden **Scheduling-Modelle** genannt
 - Aus Sicht der Transportanbieter (z.B. im öffentlichen Verkehr): Anzahl der Fahrten (z.B. Züge) oder Gütertransporte die mehr als x (z.B. fünf) Minuten zu spät am Zielort ankommen. Dies ist auch ein Maß der Terminplanung, da das

Zuspätkommen der Betrachtungsgegenstand ist, jedoch in der Regel nicht der Grad der Verspätung, sondern die Häufigkeit. Für Unternehmen des öffentlichen Verkehrs ist es ein wichtiges Thema, ob die Züge, Busse, U-Bahnen oder Straßenbahnen zu spät (d.h. in der Regel mehr als 5 Minuten später als laut Zeitplan) an der Endhaltestelle ankommen. Dieser Indikator wird heute regelmäßig in die Verkehrsverträge für das (Schienen-)Franchising aufgenommen, z.B. mindestens 95% der Züge sollten am Zielbahnhof innerhalb von fünf Minuten der geplanten Ankunftszeit ankommen. Dadurch wird dieses Maß für die Zuverlässigkeit der in der Praxis am häufigsten verwendete Indikator. Wir werden dieses Thema in Abschnitt 2.8 noch weiter ausführen.

Neben diesen zwei Hauptgruppen gibt es noch einen weiteren, sehr neuen Ansatz (zumindest in der Verkehrsanalyse), den wir gesondert in Abschnitt 2.3.1 behandeln werden, nämlich die Gewichtung mit nichtlinearen Wahrscheinlichkeiten. Diese Methode ist (in der Verkehrsanalyse) noch zu neu um eine eigene (dritte) Hauptgruppe zu bilden, gehört aber andererseits auch nicht zu einer der zwei Hauptgruppen. Diese Methode führt nicht zu einem eigenem Maß für die Unzuverlässigkeit, sondern zu neuen Definitionen von Reisezeit, die auch die Unzuverlässigkeit aufgreifen.

Tabelle 1. Verschiedene Maße für die Zuverlässigkeit der Reisezeit basierend auf der Dispersion (Streuung) der Reisezeitverteilung, jeweils für eine bestimmte Tageszeit (Time of day/TOD) oder einen Wochentag (day of the week/DOW)

Name	Formel	Anmerkungen
Standardabweichung	$\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_N (TT_i - M)^2}$	Standardabweichung der Reisezeit für einen bestimmten TOD/DOW-Zeitraum
Varianz	$\frac{1}{N-1} \sum_N (TT_i - M)^2$	Varianz der Reisezeit für einen bestimmten TOD/DOW-Zeitraum
COV	$\frac{STD}{M}$	Koeffizient der Variation für einen bestimmten TOD/DOW-Zeitraum
Intervall	[minimum, maximum]	Die statistische Spannweite kann ebenso der Unterschied zwischen Maximum und Minimum für einen bestimmten TOD/DOW-Zeitraum sein.
Perzentile	TT80-TT50	Sämtliche Reisezeiten werden von der kürzesten zur längsten sortiert. TT50 ist dann der Median 50% der Beobachtungen liegen auf der linken Seite, 50% auf der rechten Seite. TT80: 80% liegen auf der linken Seite.
Puffer-Index	$\frac{TT95 - M}{M}$	Der Puffer-Index gibt den Prozentsatz der zusätzlichen Fahrtzeit an, die ein Reisender früher als im Durchschnitt abreisen muss, um noch rechtzeitig anzukommen (in 95% der Fälle) für einem bestimmten TOD/DOW-Zeitraum.
Planungs-Zeitindex	$\frac{TT95}{TT_{freeflow}}$	Planungs-Zeitindex (engl. Planning time index) gibt die gesamte Reisezeit an, die eingeplant werden sollte, wenn ein angemessener Zeitpuffer einberechnet wird. Im vorliegenden Beispiel berechnet als das 95. Perzentil der Reisezeit geteilt durch die Free-flow-Reisezeit

Name	Formel	Anmerkungen
Elendsindex (engl. Misery Index)	$\frac{M _{TT_i > TT_{80}} - M}{M}$	Der Elendsindex (engl. Misery Index), errechnet sich aus dem relativen Abstand zwischen der mittleren Reisezeit der 20% der am schlechtesten gestellten Reisenden und der mittleren Reisezeit von allen Reisenden für einem bestimmten TOD/DOW-Zeitraum.

M bezeichnet die mittlere Reisezeit, TT_i eine Beobachtung einer Reisezeit und N die Anzahl der Reisezeit-Beobachtungen in einem bestimmten TOD/DOW-Zeitraum. Die Tabelle basiert weitgehend auf Van Lint und Van Zuylen (2005), siehe auch Lomax et al. (2003) und OECD (2010).

Die untersuchten Literaturquellen lassen sich den zuvor definierten Definitionen der Zuverlässigkeit zuordnen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die analysierten Literaturquellen (ohne den Anspruch auf Vollständigkeit der Referenzen zu erheben) gruppiert nach den Definitionen von Zuverlässigkeit, die in Studien zur Bewertung von Unzuverlässigkeit (P-Seite) oder zur Integration von Zuverlässigkeit in Transportmodelle (Q-Seite) verwendet wurden. Die ersten drei Spalten geben die am häufigsten verwendete Untergruppen der Mean-Dispersion-Modelle an; Scheduling-Modelle sind in Spalte 4 aufgeführt, und die fünfte Spalte enthält das andere Maß der zweite Hauptgruppe, die Häufigkeit von Verspätungen.

Tabelle 2. Überblick der Literatur zur Bewertung und Transportmodellierung von Zuverlässigkeit gruppiert nach den verwendeten Definitionen

Standardabweichung	Varianz	Perzentile	Terminverzug (Engl. Schedule- Delay)	Häufigkeit von Verspätungen	Reisezeit gewichtet mit nichtlinearen Wahrscheinlichkeiten
Arup (2003)	Batley et al. (2008)	Brownstone and Small (2005)	Bates et al. (2001)	Accent and HCG (1995)	Halse and Ramjerdi (2011)
Bates et al. (2001)	Börjesson et al. (2011)	Fosgerau and Fukuda (2010)	Börjesson (2008)	AVV (2003)	Hensher and Li (2012)
Copley et al. (2002)	Fosgerau and Engelson (2011)	Fowkes et al. (2001)	Börjesson et al. (2011)	Börjesson and Eliasson (2011)	Hensher et al. (2011)
Eliasson (2006)		Kouwenhoven et al. (2005)	Bruzelius (2001)	Bruzelius (2001)	Hjorth and Ramjerdi (2011)
Fosgerau and Karlström (2010)		Lam and Small (2001)	Copley et al. (2002)	Fowkes et al. (2001)	Koster and Verhoef (2012)
Kouwenhoven et al. (2005)		Van Lint et al. (2007)	De Jong et al. (2003)	Halse and Ramjerdi (2011)	
MVA (2000)		Tu (2009)	Fosgerau and Karlström (2010)	De Jong et al. (2001)	
Noland and Polak (2002)			Fosgerau and Engelson (2011)	Kouwenhoven et al. (2005)	
Peer et al. (2010)			Noland and Polak (2002)	RAND Europe et al. (2004)	
Senna (1991)			Tseng and Verhoef (2008)	Rietveld et al. (2001)	

Im Folgenden werden wir die theoretische Grundlage des Mean-Dispersion-Ansatzes (mit Schwerpunkt auf die am häufigsten verwendeten Maßen für die Variabilität: Standardabweichung, Varianz und Perzentile) und des Scheduling-Ansatzes im Detail erläutern.

2.3.1 Theorie des Mean-Dispersion-Modells und des Scheduling-Modells

Das Mean-Dispersion-Modell:

In diesem Modell wird Unzuverlässigkeit als ein Maß für die Dispersion (Streuung) der Reisezeit-Verteilung, in der Regel die Standardabweichung oder Varianz, definiert:

$$\text{Utility (Nutzen)} = \beta_{\text{cost}} * \text{Transportcost} + \beta_{\text{time}} * \text{Transporttime} + \beta_{\text{rel}} * \text{Stdev} + \dots \quad (1a)$$

oder:

$$\text{Utility (Nutzen)} = \beta_{\text{cost}} * \text{Transportcost} + \beta_{\text{time}} * \text{Transporttime} + \beta_{\text{rel}} * \text{Variance} + \dots \quad (1b)$$

wobei:

β_{time} = Time coefficient (Zeitkoeffizient)

β_{cost} = Cost coefficient (Kostenkoeffizient)

β_{rel} = Reliability coefficient (Zuverlässigkeitskoeffizient)

Das Scheduling-Modell:

$$\text{Utility (Nutzen)} = \beta_{\text{cost}} * \text{Transportcost} + \beta_{\text{time}} * \text{Transporttime} + \beta_{\text{ArrE}} * \text{Early} + \beta_{\text{ArrL}} * \text{Late} + \dots \quad (2)$$

Wobei:

β_{ArrE} = Koeffizient für verfrühte Ankunft

β_{ArrL} = Koeffizient für verspätete Ankunft

Early = die Anzahl der Minuten, die man früher als gewünscht ankommt (im Falle einer verfrühten Ankunft)

Late = die Anzahl der Minuten, die man später als gewünscht ankommt (im Falle einer verspäteten Ankunft)

Diese Spezifikation definiert Unzuverlässigkeit als die Anzahl der Minuten, die man früher oder später als bevorzugt ankommt (die in Formel (2) genannten Begriffe 'Early' und 'Late' aus dem Scheduling-Modell zusammen beinhalten also die Unzuverlässigkeit). Dies kann auch als die Anzahl an Minuten definiert werden, die man früher oder später als bevorzugte losfährt.

Dabei kann das von Vickrey (1969) und Small (1982) entwickelte Fahrplanmodell (Wahlmodell für Abfahrtszeiten) zugrunde gelegt werden. Dieses Modell analysiert die Situation in der man seine Abfahrtszeit so wählt, dass die gewichtete Summe von Reisezeit, (Reisekosten) und Terminverzögerungen minimalisiert wird. Während der Stoßzeit sind die Terminverzögerungen kleiner, aber die Reisezeiten kürzer, bzw. umgekehrt außerhalb der Stoßzeiten. Ein ähnliches Fahrplanmodell, das von Vickrey (1973) und Tseng & Verhoef (2008) entwickelt wurde, geht von einer zeitlichen Verteilung des Nutzens an der Quelle und dem Zielort aus. Dieses Modell vergleicht die Nutzen die man zu jeder Zeit an den beiden Orten bekommen kann, und liefert dann die optimale Abfahrtszeit, mit Einbeziehung der Reisezeit (=Reisedauer), die im Laufe des Tages auch variiert.

Das Scheduling-Modell von Vickrey/Small (Formel 2) und das, Mean-Dispersion-Modell mit der Standardabweichung als Maß der Dispersion (Formel 1a), sind unter gewissen Voraussetzungen theoretisch äquivalent (Bates et al., 2001, Fosgerau und Karlström, 2010). Das Gleiche gilt für das Schedule-Modell von Vickrey/Tseng/Verhoef und einem Mean-Dispersion-Modell (Formel 1b) mit dem Durchschnitt und der Varianz der Reisezeit (Fosgerau und Engelson, 2011). Diese Ansätze sind also ineinander überführbar. Es ist deshalb theoretisch möglich – abhängig davon für welches Modell empirische Daten zu erhalten sind und welches Modell am besten in das übergeordnete Verkehrsprognosemodellsystem passt – ein Streuungsmaß aus dem Wahlmodell für Abfahrtszeiten oder ein Strafmaß für Zufrüh-/Zuspätkommen aus der Standardabweichung oder Varianz zu berechnen.

Kombinierte Modelle:

In der aktuellen niederländischen Studie zu Zeitkosten und Zuverlässigkeit versuchen wir, beide Spezifikationen zu kombinieren, indem getestet wird, zu welchem Grad die Standardabweichungen oder die Strafmaße bei frühem und spätem Ankommen auf den Einfluss der Variabilität reagieren: Welche Spezifikation ist besser oder müssen vielleicht sogar beide einbezogen werden, um den vollen Effekt der Zuverlässigkeit der Reisezeit zu erfassen? Können die Scheduling-Terms alle Effekte erfassen, indem die Auswirkungen von längeren und kürzeren Fahrzeiten auf die Ankunftszeiten berücksichtigt werden oder gibt es einen zusätzlichen Einfluss auf Stress, Angst, Reputation, etc.?

$$\begin{aligned}
 \text{Utility (Nutzen)} = & \beta_{\text{cost}} * \text{Transportcost} + \beta_{\text{time}} * \text{Transporttime} + \beta_{\text{rel}} * [\text{Stdev}] \\
 & + \beta_{\text{ArrE}} * [\text{bevorzugte Ankunftszeit} - \text{tatsächliche Ankunftszeit}] * \delta_E \\
 & + \beta_{\text{ArrL}} * [\text{tatsächliche Ankunftszeit} - \text{bevorzugte Ankunftszeit}] * \delta_L + \text{andere} \\
 & \text{Ausdrücke}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Wobei die Symbole folgendermaßen definiert werden:

δ_E = Dummy, der angibt ob jemand zu früh ankommt (1) oder nicht (0)

δ_L = Dummy, der angibt ob jemand zu spät ankommt (1) oder nicht (0)

Alternative theoretische Basis für Nutzenmaximierung

Die bisher vorgestellten Spezifikationen basieren auf der Random Utility Theorie (McFadden, 1978). Diese Theorie besagt, dass Entscheidungsträger ihre Wahl zwischen diskrete Alternativen treffen, indem sie den Nutzen vergleichen, den sie von diesen Alternativen bekommen und dann die Alternative mit den höchsten Nutzen wählen. Für jede Alternative gibt es eine Nutzenfunktion, die ausdrückt, wie der Nutzen von den beobachteten Variablen aber auch von nicht-beobachteten Komponenten abhängt. Für diese letzte Gruppe nehmen die Untersucher eine statistische Verteilungsfunktion an. Vor kurzem wurden im Transportbereich einige Modelle entwickelt, die von einem anderen Paradigma ausgehen, nämlich der Prospect Theory (Neue Erwartungstheorie).

Die Prospect Theorie (Kahneman und Tversky, 1979; van de Kaa, 2008) besagt Folgendes:

- Es besteht eine Abhängigkeit zwischen der Bewertung und der Referenz-Alternative (der jetzt beobachteten Situation) : Referenz- Abhängigkeit
- Es besteht ein Unterschied in der Bewertung der Gewinne und Verluste bei einigen Attributen und ein Unterschied in der Bereitschaft, für einen Zeitgewinn zu bezahlen (WTP) und einen Zeitverlust in Kauf zu nehmen (Akzeptanzbereitschaft, WTA: willingness to accept) (Verlustaversion).
- Es gibt eine Größenabhängigkeit in der Bewertung von verschiedenen Werten eines Attributs. Die Bewertung hängt damit z.B. ab von dem Transportabstand.

Einige Studien (z. B. De Borger und Fosgerau, 2008) schätzen separate Werte für die VOT für Entscheidungen, die Folgendes testen:

- Die Zahlungsbereitschaft (WTP), in der eine Zeitverbesserung zusammen mit einer Kostensteigerung gegenüber der aktuellen Situation bewertet wird,
- die Akzeptanzbereitschaft (WTA), bei der eine Zeitverschlechterung in Kombination mit einer Kostenreduktion gegenüber der aktuellen Situation bewertet wird,
- Einen Equivalent Gain (EG: equivalent gain, äquivalenten Gewinn), bei dem eine Zeitverbesserung (und aktuelle Kosten) gegenüber einer Kostenreduktion (und aktuelle Zeit) ausgewertet wird, und
- Einen Equivalent Loss (EL: equivalent loss, äquivalenten Verlust), bei dem eine Zeitverschlechterung (und aktuelle Kosten) gegen einer Kostensteigerung (und die aktuelle Zeit) ausgewertet wird.

Gemäß der Theorie fällt die WTP geringer als der Wert für EG und EL, und diese Werte sind wieder kleiner als der WTA: $WTP < EG/EL < WTA$.

Die Prospekt Theorie hat schon zu Modellschätzungen geführt (vor allem im Rahmen der Dänischen and Schwedischen VOT Studien, um Bewertungen zu bekommen die korrigieren für die obengenannte Effekten die in einer SP Erhebung eine Rolle spielen können; Fosgerau et al., 2008, Börjesson und Eliasson, 2011), wird aber (noch) nicht in praktische Transportmodellen verwendet.

Nichtlineare Wahrscheinlichkeitsgewichtung (Nonlinear probability weighting)

Das Mittelwert-Varianz-Modell und das Scheduling-Modell, wie oben dargestellt, gehen davon aus, dass Reisende und Entscheidungsträger des Güterverkehrs die Reisezeitwahrscheinlichkeiten in einer linearen Art und Weise behandeln: Eine doppelt so hohe Wahrscheinlichkeit wird als zweimal so wahrscheinlich angesehen. Die Verhaltensökonomik hat Beweise dafür vorgelegt, dass Individuen Wahrscheinlichkeiten häufig auf eine nichtlineare Weise gewichten, abhängig von ihrer Risikowahrnehmung (z.B. risikoscheu, risikofreudig). Es gibt erst seit kurzem Anwendungen auf dem Transportgebiet (Hensher und Li, 2012; Hensher et al. 2011; Koster und Verhoef, 2012 und Halse und Ramjedri, 2011). Zum Beispiel gewichten pessimistisch eingestellte Reisende die Wahrscheinlichkeit von langen Fahrtzeiten höher, während optimistische Reisende die Wahrscheinlichkeit von kurzen Fahrtzeiten höher einschätzen.

Ein weiteres Beispiel von nichtlinearer Wahrscheinlichkeitsgewichtung ist eine sehr geringe Wahrscheinlichkeitssensibilität, d.h. Reisende, die nicht zwischen Ereignissen mit verschiedenen Wahrscheinlichkeiten differenzieren. In einer Anwendung auf Reisezeitdaten auf Autobahnen in den Niederlanden, stellten aber Koster und Verhoef (2012) fest, dass für Reisende zur morgendlichen Hauptverkehrszeit der Unterschied in Kosten zwischen einer Wahrscheinlichkeitsgewichtung und einer linearen Gewichtung nur etwa 3% beträgt. Demnach ist dieser Effekt in der Praxis von geringerer Bedeutung.

Hensher et al. (2011) verwenden ihr Modell zur Wahrscheinlichkeitsgewichtung und Risikoeinstellung um Zeitkostensätze abzuleiten, die die Effekte der Reisezeitunzuverlässigkeit einschließen. Hjorth und Ramjerdi (2011) berechnen auch einen Zeitkostensatz mit einer Art zusätzlichen negativen Nutzen für das Risiko, um die Zuverlässigkeitseffekte in dem Zeitkosten aufzunehmen. Man braucht dann keine zusätzliche Bewertungen für Zuverlässigkeit, die umgearbeitete Zeitkostensätze genügen für die Einflüsse von Reisezeit und Zuverlässigkeit in der NKA. Wenn allerdings ein Infrastrukturprojekt zu sehr unterschiedlichen Effekten auf Reisezeit und Zuverlässigkeit führt, ist diese Methode nicht geeignet.

2.3.2 Die Behandlung der Reisezeitunzuverlässigkeit in bestehenden Bewertungsstudien (P-Seite; Preisseite)

Grundsätzlich können sowohl aus Stated-Preference (SP)- als auch Revealed-Preference (RP)-Untersuchungen Wertansätze für die Zuverlässigkeit gewonnen werden. SP bedeutet dass den Probanden hypothetische Alternativen vorgelegt werden, die charakterisiert sind von ihren Attributwerten (z.B. eine gewisse Reisezeit) und dann gebeten werden ihre Präferenzen zu ermitteln). In RP handelt es von tatsächlich offenbarten Präferenzen in wirklich getroffene Entscheidungen Als Hintergrund für die vorliegende Arbeit und als Empfehlung, ist jedoch anzumerken, dass praktisch alle durchgeführten empirischen Arbeiten auf Stated-Preference-Daten basieren. Dabei wurden entweder der Mean-Dispersion oder der Schedule-Delay-Ansatz oder beide verwendet. Es ist allgemein sehr schwierig Revealed-Preference-Daten zu sammeln, die Maße für die Variabilität, Reisezeiten und Reisekosten enthalten, die nicht stark miteinander korrelieren. Darüber hinaus besteht bei RP-Daten die fortwährende Schwierigkeit, Informationen über die Eigenschaften der nicht-gewählten Alternativen zu bekommen, z. B. über die Fahrzeiten zu verschiedenen Zeitpunkten (Perioden). Dennoch haben Wissenschaftler versucht, Situationen

mit Variationen in der Variabilität zu finden (z. B. die Wahl zwischen zwei Autorouten, wovon eine wegen Staus oder gesperrten Brücken weniger zuverlässig ist; oder die Wahl zwischen zwei Zugverbindungen). Beispiele für uns bekannte praktische RP-Studien sind zum einen die Studien, die in Kalifornien durchgeführt wurden (SR91), wobei eine Strecke mit einer variablen Maut mit einer mautfreien (staufreien) Strecke verglichen wurde. Zum anderen gibt es eine laufende Studie von ITS Leeds zur Variabilität der Reisezeit bei der Schiene.

Entsprechend der in 2.3.1 vorgestellten Theorie stehen zur Ableitung eines monetären Wertes für die Zuverlässigkeit folgende Modelle zur Auswahl: Ein Mean-Dispersion-Modell (meist mit Standardabweichung, manchmal Varianz oder Perzentilen), ein Scheduling-Modell oder eine Kombination aus beidem. Das verwendete Modell hat dabei Auswirkungen auf die Ausgestaltung der empirischen Studien zur Bewertung der Reisezeitvariabilität. Für die Mean-Dispersion-Modelle müssen in den empirischen Studien mindestens Informationen über die Variationen von Reisezeiten enthalten sein. Für Scheduling-Modelle müssen demgegenüber die gewünschten Ankunftszeiten (PAT – preferred arrival time) in den Studien erfasst werden.

Die Hauptunterschiede der verfügbaren empirischen Studien für die beiden wichtigsten Modellarten der Zuverlässigkeit sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3. Hauptunterschiede in empirischen Studien zur Bewertung der Reisezeitvariabilität

	Gewünschte Ankunftszeit erfasst	Gewünschte Ankunftszeit nicht erfasst
Variation enthalten	A: Mean-Dispersion Modelle und Scheduling-Modelle	B: Mean-Dispersion Modelle
Keine Variation enthalten	C: Scheduling-Modelle	D: nicht verwendbar

Wenn in den empirischen Studien keine Variation der Reisezeit vorgelegt wird und die Gewünschte Ankunftszeit (PAT) nicht erfasst wird (Fall D), dann können die Daten nicht für "Zuverlässigkeitszwecke" verwendet werden. Diese Studie können somit vernachlässigt werden.

Allerdings können Scheduling-Parameter (wie β_{ATTE} und β_{ATTL} in Formel 2) erhalten sein, unabhängig davon ob Variabilität präsentiert wird, solange wir Ankunftszeiten (oder Abfahrtszeiten) und die PAT (oder eine Reflexion von ihr) haben. Daraus können wir dann die Reaktion auf die Variabilität ableiten, indem die Schedule-Delay-Formel mit einer Verteilung der Reisezeit kombiniert wird. Dies sind die Fälle A und C, die dem zuvor beschriebenen Schedule-Delay-Ansatz folgen.

Wenn die PAT nicht erfasst wird, dann müssen wir eindeutig auf den Mean-Dispersion-Ansatz zurückgreifen (Fall B). Wir können auch Mean-Dispersion-Modelle für den Fall A (wo Scheduling-Modelle ebenfalls möglich sind) schätzen.

Die beiden Dimensionen, die in Tabelle 3 aufgeführt sind, führen zu erheblichen Schwierigkeiten in der Datenerhebung. Bei den Fällen A und B besteht das Problem, den Befragten die Variabilität auf eine Weise darzustellen, die ihnen ausreichend Hilfestellung bietet, um zuverlässige und nützliche Daten in Bezug auf die Wahlmöglichkeiten zu liefern. Für die Fälle A

und C, besteht eine große Schwierigkeit darin, die PATs zu erhalten, denn auch dieser Begriff wird nicht in Standard-RP-Befragungen (wie Mobilität in Deutschland) mitgenommen und ist auch nicht einfach für die Probanden zu erklären. Einige Studien (z.B. Bates et al. (2001); Copley et al. (2002); Noland et al. (1998); Hollander (2005); Significance et al. (2007)) haben sowohl ein Maß für die Variation der Reisezeit als auch einen PAT präsentiert (Fall A in Tabelle 3). Die meisten empirischen Studien haben jedoch entweder den Mean-Dispersion-Ansatz (Fall B) oder den Schedule-Delay-Ansatz (Fall C) verwendet. Im Güterverkehr wird die Wahrscheinlichkeit einer Verspätung oft gemessen als die Wahrscheinlichkeit, mit der man nicht zum (vom Verlader/Empfänger) angegebenen Zeitpunkt oder innerhalb des angegebenen Zeitfensters ankommt. Dies wird dann als ein Äquivalent zu dem PAT-bevorzugten Ankunftszeitintervall des Personenverkehrs verwendet. Der Schedule-Delay könnte auch die verfrühte Ankunft beinhalten, was zu zusätzlichen Kosten am Zielort führen könnte. Daher sind die Ergebnisse für die Wahrscheinlichkeit nicht zum angegebenen Zeitpunkt oder innerhalb des angegebenen Zeitfensters an zu kommen (wie z.B. in RAND Europe et al. (2004); siehe Kapitel 5) ähnlich mit denen des Schedule-Delay-Ansatzes. Eine explizite Anwendung des Schedule-Delay-Ansatzes für den Güterverkehr wurden von Small et al. (1999) und von Fowkes et al. (2001) durchgeführt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass heutzutage Bewertungsstudien von Reisezeit und Zuverlässigkeit fast ausnahmslos SP Daten verwenden und das Mean-Dispersion-Modelle und Scheduling-Modelle beide zu großen Ansprüche für der SP-Erhebung führen. Aber für beide Ansätze gibt es gute Beispiele in der Literatur von tatsächlich ausgeführten Studien. Eine detaillierte Beschreibung der empirischen Bewertungsstudien folgt in Kapitel 5.

2.3.3 Die Behandlung der Reisezeitunzuverlässigkeit in bestehenden Transport-Modellen (Q-Seite/Mengenseite)

In der Literatur und Praxis wurde eine Reihe von Ansätzen gefunden, die in der Lage sind, aus denen in Verkehrsmodellen generieren Daten (z.B. Verkehrsdichte, tatsächliche Geschwindigkeit im Bezug auf free-flow Geschwindigkeit etc.) Rückschlüsse auf die zu erwartenden Streumaße der Unzuverlässigkeit zu ziehen. Diese Ansätze sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

In mathematischen Transportmodellen, in denen versucht wird, Zuverlässigkeit direkt mit einzubeziehen (z.B. Arup, 2003; Kouwenhoven et al., 2005; Eliasson, 2006; Tu, 2009; Peer et al, 2010) werden oft Dispersionsmaßstäbe verwendet (die Standardabweichung, die Varianz oder Perzentile). Diese Studien versuchen Reisezeitabweichungen zu errechnen aus mittleren Reisezeiten, Verkehrsstärke oder Verkehrsstaus, welche standardmäßig durch Verkehrsmodelle geliefert werden.

Andere Untersucher (z.B. Hollander und Liu, 2008; Li et al., 2009; Mahmassani, 2011) erstellen Daten über Zuverlässigkeit durch Simulation. Mehrere Modelldurchläufe werden mit leicht veränderten Eingabewerten durchgeführt, um so Bandbreiten = Streumaße zu erzeugen. So können Aussagen gemacht werden, die nicht nur für einen Abschnitt gültig sind, sondern auch auf Relationsniveau. Diese Prozeduren sind vom Rechenaufwand oft sehr umfangreich und lassen sich möglicherweise für große Infrastrukturnetzwerke (noch) nicht anwenden. Bei der Festlegung einer geeigneten Methode zur Berechnung der Variabilität für den BVWP ist es daher

entscheidend, die Umsetzbarkeit im Zusammenhang mit den gegenwärtigen und zukünftigen Modellen, die dem BMVBS vorliegen, zu berücksichtigen.

Der Puffer Index (oder Fahrtzeiten-Index), der Planung Time Index und der Elendsindex (engl. Misery Index) werden häufig in den USA verwendet (die ersten beiden zum Beispiel in FHWA Urban Congestion Berichten, z.B. FHWA, 2006) um die Zuverlässigkeit der Reisezeit auf nationaler Ebene zu überwachen (Sehe in Tab. 1 für die Definitionen). Diese Indizes werden in deskriptiven Studien verwendet. Eine Verwendung solcher Maßnahmen in a priori Nutzen-Kosten-Analysen (NKA) von Infrastrukturprojekten ist nicht bekannt. Es wäre auch schwierig, Methoden für eine monetäre Bewertung dieser Indizes zu entwickeln. Daher werden in dieser Studie diese Maße nicht näher untersucht werden.

Angewandte Transportmodelle enthalten in der Regel keine Abfahrtszeit-Wahl-Modelle (departure time choice models), was den Kern von Scheduling-Modellen ausmacht. Eine der wenigen Ausnahmen ist das nationale niederländische Modell, das allerdings keine Entscheidungen bezüglich der bevorzugten Ankunftszeiten beinhaltet, sondern nur die Auswirkungen von Reisezeit und -kosten auf Änderungen beim Abreisezeitraum wiedergibt. Darüber hinaus, besitzen solche praktischen Transportmodelle keine Darstellung der Uhrzeit (im Unterschied zur Reisedauer) und zur PAT. Es fehlen außerdem Informationen über die (zukünftigen) bevorzugten Ankunfts- und Abfahrtszeiten. Dies erschwert es ungemein, Scheduling-Variablen in praktische Transportmodelle aufzunehmen, sowohl jetzt, als auch in der nahen Zukunft. Eine ausführlichere Beschreibung der Literatur auf der Mengenseite folgt in Kapitel 6.

2.3.4 Die Behandlung der Reisezeitunzuverlässigkeit in der existierenden Nutzen-Kosten-Analyse (P*Q)

Die meisten Länder, die NKA durchführen, um Verkehrsprojekte auf nationaler Ebene zu bewerten, berücksichtigen nicht explizit die Zuverlässigkeit. Die Länder, die erste Ansätze verwirklicht haben, sind die skandinavischen Länder und die Niederlande. Tabelle 4 fasst zusammen, was in der Praxis in NKA in diesen Ländern passiert.

Tabelle 4. Wert der Zuverlässigkeit (Variabilität) in der Praxis der NKA

	Niederlande	Schweden	Norwegen	Dänemark
Personenverkehr	RR ¹ je Verkehrsträger, aus einem Experten-Workshop (oder 25% Aufschlag auf VTTS)	ÖV: Verspätungen, nach Zweck und Abstand MIV: RR je Reisezweck	Verspätungen	Schiene: Verspätungen
Güterverkehr	RR je Verkehrsträger, abgeleitet aus einer SP Studie	Verspätungen	Verspätungen	Schiene: Verspätungen

1: RR = reliability ratio = (Wert einer Minute der Standardabweichung) / (Wert einer Minute der Durchschnittsreisezeit)

Praxis in der NKA in Dänemark – Zuverlässigkeit

Es gibt keine offizielle dänische Praxis für die Bewertung der Reisezeitenvariabilität. Eine Vorstudie wurde aufbauend auf den Ergebnissen in Fosgerau und Karlström (2010) durchgeführt. Das Hauptproblem in Dänemark im Moment ist das Fehlen von Modellen, die in der Lage sind, die Zuverlässigkeit für den Straßenverkehr vorherzusagen. Für den Schienenverkehr ist die derzeitige Praxis, die gemittelte Verspätung zu verwenden (hierzu gibt es Prognosemodelle).

Praxis in der NKA in Norwegen – Zuverlässigkeit

In Norwegen wird die Unzuverlässigkeit momentan als Kostenkomponente in die NKA eingebracht, nämlich durch Anwendung eines festen Zuschlagfaktors (ein Vielfaches des VOT), ohne Differenzierung nach Straßentyp, Verkehrsstärke etc. Dieser Faktor basiert teilweise auf den Expertenbefragungen im niederländischen Projekt (siehe unten); auch im europäischen Projekt HEATCO werden diese Werte empfohlen (HEATCO, 2006). Man muss in Norwegen deshalb nur die Zeitgewinne berechnen und dann mit diesem Faktor multiplizieren. Darüber hinaus liegen Ergebnisse der norwegischen Studie zur Bewertung von Reisezeit und Zuverlässigkeit vor (Ramjerdi et al., 2010; Halse et al., 2010).

Praxis in der NKA in den Niederlanden - Zuverlässigkeit

Die empfohlenen (vorläufigen) Werte für die Zuverlässigkeit basieren auf den Ergebnissen eines Expertenworkshops, der am 25. Oktober 2004 stattfand. Dabei handelte es sich um eine Initiative des AVV Transport Research Centre des niederländischen Verkehrsministeriums. Der Workshop wurde von RAND Europe organisiert (Hamer et al., 2005). Das Ziel des Workshops war es, sinnvolle vorläufige Bewertungsansätze für die Zuverlässigkeit (VTTR=VOR) für eine

Reihe von Verkehrsträgern oder Kombinationen von Verkehrsträger-Reisezwecken bereitzustellen, die in die NKA-Leitlinien aufgenommen werden können.

Der Fokus des Workshops lag auf der Bewertung von unerwarteten Verzögerungen bei der Reisezeit; vorzugsweise ausgedrückt durch die Standardabweichung vom Mittelwert. Obwohl diese Definition ihre Nachteile hat (z.B. keine Repräsentation der Asymmetrie der Reisezeitverteilung. Sensitivität zu extreme Beobachtungen), würde eine Verwendung dieser Definition möglicherweise zu weniger Unklarheiten in der aktuellen Nutzen-Kosten-Analyse führen.

Ein weiteres Ziel des Workshops bestand darin zu erörtern, wie der Mangel an notwendigen Studien im Hinblick auf VTTR für die verschiedenen Verkehrsträger und Reisezwecke behoben werden könne und wie die Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit einen Beitrag zur Erforschung evidenzbasierter monetären Werte für die Zuverlässigkeit leisten könnten.

Die Teilnehmer kamen nicht nur aus den Niederlanden, sondern auch aus dem Vereinigten Königreich und Schweden, da die Zuverlässigkeit der Reisezeit ein Anlass zu wachsender Sorge und Forschung in diesen Ländern ist.

Die im Folgenden präsentierten VTTR basieren auf den Meinungen der Experten und den Diskussionen während des Workshops. Diese VTTR Schätzungen stellen vorläufige Werte dar. Um evidenzbasierte monetäre Werte für die Zuverlässigkeit zu erhalten, wird zur Zeit in den Niederlanden eine national repräsentative SP Studie unter Pkw-Fahrern, Reisenden in öffentlichen Verkehrsmitteln, Transportunternehmen und Verladern durchgeführt.

Der Ansatz, um die VTTR für den Personenverkehr zu messen besteht aus den folgenden Schritten:

- Verbesserte Zuverlässigkeit der Reisezeiten ist gleichzusetzen mit einer Reduzierung der Reisezeitvariabilität und somit einer Verringerung von unerwarteten Verzögerungen;
- Die VTTR wird definiert als der Wert einer Minute Standardabweichung der Reisezeitverteilung;
- Die Experten des Workshops waren sich einig, dass die VTTR in der Regel in die Zuverlässigkeitsquotient (Reliability Ratio) umgewandelt wird:

$$VTTR = RR * VTTS$$

wobei:

VTTR= Wert einer Minute der Standardabweichung

VTTS= Wert einer Minute der Durchschnittsreisezeit (=VOT)

RR= Reliability Ratio (=VTTR/VTTS).

Die Grundlage für die Einigkeit beruhte vor allem auf der gängigen Praxis einer bequemen Umrechnung (Transformation) da VTTS in der Regel zur Verfügung stehen (sowie der Wunsch nach Konsistenz mit diesen Werten).

Für den Personenverkehr mit dem Pkw und öffentlichen Verkehrsmitteln, einigten sich die Experten auf die folgenden Zuverlässigkeitsquotienten (Reliability Ratios, RR, basierend auf den

verfügbaren internationalen Daten, vor allem aus Großbritannien, den Niederlanden und Schweden):

Tabelle 5: Zuverlässigkeitsquotienten (RR) für den Personenverkehr je Verkehrsträger (Zwecke: Pendler, Wirtschaft und andere)

Verkehrsträger	Zuverlässigkeitsquotient
PKW	0.8
(S-) Bahn	1.4
Bus, Straßenbahn, (U-)Bahn	1.4

Source: RAND Europe, 2004

Die Zuverlässigkeitsquotienten in Tabelle 5 unterscheiden nicht zwischen Reisezwecken, aber die Tatsache, dass die VTTS variieren, bedeutet, dass die gleiche Variation auf die VTTR übertragen wird.

Im Hinblick auf die Anwendung und die Dimensionen der VTTR für den Güterverkehr gab es keinen Konsens, nicht einmal eine mehrheitliche Meinung innerhalb der Expertengruppe. Alle Experten waren sich einig, dass bezüglich der VTTR im Güterverkehr ein großer Forschungsbedarf besteht, um die erzielten Ergebnisse der holländischen Studie (RAND Europe, 2004a) zu validieren.

In der Zwischenzeit werden die SP-Werte von RAND Europe et al. (2004) als die beste verfügbare Schätzung verwendet; diese mussten allerdings erst in Zuverlässigkeitsquotienten dimensioniert werden. In RAND Europe (2004), wird die VTTR durch das Scheduling-Verfahren (also relativ zur vereinbarten Ankunftszeit) gemessen. Die Forschungsarbeit zur Umwandlung dieser Ergebnisse in Zuverlässigkeitsquotienten ist in de Jong et al. (2009) dargestellt. Für den Güterverkehr auf der Straße, ist der empfohlene RR 1,24. Dieser Wert ist vorläufig und kann verwendet werden, bis die Werte von neuer empirischer Forschung in den Niederlanden ausgewertet sind (Ende 2011).

Für den Güterverkehr waren die vielen Annahmen, die den aktuellen (indikativen) Zuverlässigkeitsquotienten zu Grunde liegen, der Hauptgrund, um eine neue empirische Untersuchung zu veranlassen, um dadurch genauere Zuverlässigkeitsquotienten zu erhalten.

Die empfohlenen vorläufigen Zuverlässigkeitsquotienten für den Personenverkehr (vor allem für Pkw-Fahrer) basieren aktuell noch nicht auf der Forschung die derzeit in den Niederlanden durchgeführt wird. Unserer Meinung nach wären solche Studien notwendig, um Ergebnisse zu erzielen, die die vorläufigen Werte ersetzen. Dies ist der Hauptgrund für die aktuelle Studie für Zeit- und Zuverlässigkeitskostensätze in den Niederlanden.

In der Praxis wurde bei der NKA manchmal nur ein Aufschlag von 25% auf die Reisezeitgewinne angesetzt, um eine erhöhte Zuverlässigkeit einzukalkulieren. Besseling et al. (2004), die für die niederländische obere Behörde für Wirtschaftsanalysen (Centraal Planbureau CPB) arbeiten, versuchen einen praktischen und vorläufigen Weg zur Berücksichtigung der Variabilität in der

NKA zu entwickeln. Sie empfehlen, basierend auf einer Literaturrecherche zur Einbeziehung der Variabilität, die Reisezeitgewinne mit 1,25 zu multiplizieren.

Praxis in der NKA in Schweden - Zuverlässigkeit

Der Schwedische NKA-Methodenbericht ASEK 4 enthält eine Diskussion darüber, ob die Unzuverlässigkeit (Variation) der Reisezeiten verwendet werden soll, oder die Verspätung, mit Verweis auf den Expertenworkshop zu diesem Thema in den Niederlanden (Hamer, 2005) und HEATCO (2006). Für den Privatverkehr empfahl man für die Verkehrsmittel Bus, Bahn und Flugzeug (mit einer Unterscheidung zwischen Regional- und Fernreisen für alle drei diese Verkehrsmittel) zur Abbildung der Zuverlässigkeit die Verspätungszeiten zu verwenden und mit dem VTTS zu bewerten.

Für Pendlerverkehre mit dem Pkw wurde ein Wert für Reisezeitunsicherheit (gemessen als Minuten Standardabweichung) empfohlen (90% der VTTS für im Fahrzeug verbrachten Zeit). Für andere private Pkw-Fahrten existiert ein Wert für Stauzeiten (50% höher als der normale VTTS für im Fahrzeug verbrachte Zeit).

Die empfohlenen Werte für Geschäftsreisen beinhalten eine Verspätungszeit für Flugzeug, Bahn und Bus (wie im Privatverkehr) und Werte für Reisezeitenunsicherheit (wie beim Pendlerverkehr mit Pkw) für Pkw-Fahrten.

Für den Güterverkehr, empfiehlt ASEK 4 einen Wert für die Verspätungen, der dem Zweifachen des VTTS entspricht und pro Tonnen je Stunde angegeben wird.

2.4 Spezifische Definitionen für den öffentlichen Verkehr

Reisende des öffentlichen Verkehrs können nur aus einer begrenzten Anzahl von Abfahrtszeiten (am Bahnhof oder der Bushaltestelle) wählen, da der meiste öffentliche Verkehr offizielle Fahrpläne verwendet. Im öffentlichen Verkehr erfährt der Fahrgast vor allem die folgenden drei Effekte von Unzuverlässigkeit beim Fahrbetrieb (Noland and Small, 1995; Noland and Polak; 2002; Van Oort and Van Nes, 2004; Frumin et al., 2009):

- Auswirkungen auf die Dauer der Reisezeitkomponenten (Zeit im Fahrzeug und Wartezeit); dies führt zu einer verfrühten oder verspäteten Ankunft;
- Auswirkungen auf die Variabilität der Reisezeitkomponenten (Abfahrts- und Ankunftszeit, Zeit im Fahrzeug und Wartezeit), was zur Unsicherheit bezüglich der tatsächlichen Reisezeit führt;
- Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit, einen Sitzplatz zu finden und überfüllte öffentliche Verkehrsmittel, was sich auf den Reisekomfort auswirkt.

Zuverlässigkeit im öffentlichen Verkehr wird oft im Sinne von Abweichungen von diesem Fahrplan gemessen (z.B. Pünktlichkeit). Genauer gesagt, wird die Anzahl der Züge (oder Busse, Straßenbahnen) gezählt, die mehr als x (etwa 5) Minuten zu spät am Zielbahnhof ankommen. Diese Maßzahl wird heute vielfach in der Praxis in verschiedenen Ländern in Franchiseverträgen zwischen Behörden und Unternehmen des öffentlichen Verkehrs verwendet. Diese Methode kann nicht für den PKW (keine Fahrpläne) eingesetzt werden, aber auch nicht für die U-Bahn, da U-Bahnen so häufig fahren, dass viele Reisende den Fahrplan nicht benutzen.

Allerdings geben die Fahrplanabweichungen nicht die vollständigen Auswirkungen auf die Passagiere wieder, da die Fahrpläne selber nicht eine optimale Situation darstellen. Reisenden (und Verlader) können ganz andere gewünschte Abfahrt- und Ankunftszeiten haben als die Zeiten im Fahrplan. Ein Fahrplan kann ohnehin keine vollständige zeitliche Flexibilität bieten. Außerdem geht bei einer Messung der Fahrplanabweichungen eine Mustererkennung bezüglich der Ankunft der Passagiere an der Haltestelle verloren (Informationsverlust: Individuelle Ankunft der Passagiere an den jeweiligen Haltestellen). Um dies zu vermeiden, empfehlen die neuesten Forschungsergebnisse der Technischen Universität Delft und des MIT, Indikatoren zu verwenden, die den Effekt von Unzuverlässigkeit ausdrücken, indem die durch die Unzuverlässigkeit verursachte zusätzliche Reisezeit je Fahrgast neben der Variabilität der Reisezeit berechnet wird. Van Oort (2011) liefert Methoden und Werkzeuge, um diese Effekte auf die Fahrgäste zu berechnen. Diese werden in Kapitel 6 beschrieben. In unseren Empfehlungen für den BVWP in Kapitel 9 schlagen wir vor, im öffentlichen Verkehr auch Daten zur Unzuverlässigkeit auf der Ebene der Reisenden zu verwenden.

2.5 Spezifische Definitionen für die Binnenschifffahrt

Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, können bei der Binnenschifffahrt Nutzengewinne aus der Zuverlässigkeitssteigerung zweier Komponenten (Kapazität und Zeit) entstehen.

Infrastrukturmaßnahmen an den Wasserstraßen erzielen i.d.R. die größten Nutzengewinne aus der Bereitstellung größerer Abladetiefen für die Binnenschifffahrt. Auf frei fließenden Flussabschnitten variieren die Abladetiefen in Abhängigkeit von den Wasserständen. Ein vergleichbarer Zusammenhang besteht zwischen den Lichtraumprofilen und den Wasserständen. Aufgrund von Infrastrukturmaßnahmen wird nicht nur ein unmittelbarer Nutzen durch die bessere Ausnutzung von Transportkapazitäten (mit Wirkung auf die Transportkosten) sondern auch ein zusätzlicher Nutzen durch die höhere Zuverlässigkeit in der Kalkulation der Transportkapazitäten erzielt (bessere Ausnutzung der Schiffskapazität, geringere Sicherheitspuffer, Vermeidung von Leichterungen). Dies ist u. a. von den variierenden Abladetiefen auf den verschiedenen Streckenabschnitten der jeweiligen Relationen abhängig. Der Nutzen aus höherer Zuverlässigkeit in der Kalkulation der Transportkapazitäten wirkt sich in der Verringerung der Transportkosten aus.

In seiner Dissertation untersucht Jonkeren (2009) die Wohlfahrtseffekte von niedrigen Wasserständen auf dem Rhein. Diese Wasserstände können auch als ein Aspekt der Unzuverlässigkeit (oder vielmehr Unsicherheit) angesehen werden, was in der Binnenschifffahrt ein entscheidender Faktor ist, weil die Wasserstände an mehreren Stellen am Rhein (z.B. bei Kaub) die Abladetiefe sowie den optimalen Schiffstyp bestimmen. Die Wasserstände können nicht mit ausreichender Genauigkeit mehr als nur ein paar Tage im Voraus prognostiziert werden. Es besteht demnach ein gewisses Maß an Unzuverlässigkeit in Bezug auf die Wasserstände, und damit die Abladetiefe, die sich daraus in den folgenden Tagen ergibt.

Jonkeren (2009) misst den Wohlfahrtsverlust aufgrund von Niedrigwasser auf der Grundlage der Reduzierung der Auslastung, bei der man noch sicher navigieren könnte:

$$c_1 = c_0 (\theta_1/\theta_0)$$

Der Index 0 steht für die Situation ohne Einschränkungen auf die Nutzlast, der Index 1 bedeutet niedrigere Wasserstände, und c steht für die Transportkosten pro Tonne.

Hierbei handelt es sich nicht so sehr um ein Maß für die Variabilität, sondern um ein Maß zur Berechnung des durch Niedrigwasser erzeugten Wohlfahrtsverlusts. Der Schwerpunkt liegt bei Jonkeren (2009) auch nicht auf den tagtäglichen Veränderungen der Wasserstände, sondern auf einer strukturellen Veränderung der Wasserstände, die aufgrund des Klimawandels unter dem aktuellen Durchschnitt liegen würden.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Binnenschifffahrt werden aktuell im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS diskutiert^{5,6,7}. Demnach gibt es keine Erkenntnisse, dass Klimaveränderungen bis 2050 maßgeblich das Abflussregime beeinflussen. Danach ist allerdings damit zu rechnen, dass die Schwankungen des Wasserstands zunehmen (KLIWAS, 2011⁸).

Demirel (2011) untersuchte die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Binnenschifffahrt. Unter der Annahme, dass die Wasserstände vor allem auf dem Rhein in Zukunft volatil werden, werden verschiedene Anpassungsstrategien vorgeschlagen. Obwohl die Einflüsse des Klimawandels sich gleichermaßen auf Plan- und Bezugsfall auswirken, kann der öffentliche Sektor mit entsprechenden Infrastrukturmaßnahmen auf das veränderte Ablaufregime, und somit eine gewisse Mindesttiefe, einwirken.

Der Schwerpunkt der Untersuchung von Demirel lag auf Investitionen in die Infrastruktur, wie z.B. Ausbaggern des Flussbetts, und errechnete einen Nutzen-Kosten-Quotienten, der über dem Wert 1 liegt (vor und nach Klimaveränderungen). Daraus lässt sich eine Wohlfahrtssteigerung durch Infrastrukturinvestitionen schlussfolgern. Eine Sensitivitätsanalyse mit Bezug auf die Elastizität der Nachfrage und der Kostenfunktion von Infrastrukturinvestitionen ergab, dass die optimale Schiffsgröße weitgehend unveränderlich ist und sich bei etwa dem zweifachen der aktuellen durchschnittlichen Größe einpendelt. Die Höhe der Infrastrukturinvestitionen hängt allerdings von der Höhe der Investitionskosten und der Elastizität der Nachfragefunktion ab.

⁵ Görgen, K., Beersma, J., Nilson, E., Carambia, M., Krahe, P., De Keizer, O., Perrin, Ch. (2011). Rheinblick 2050: Joint climate and discharge projections for the Rhine. Poster auf der KLIWAS Statuskonferenz, 25. – 26. Oktober 2011, Berlin.

⁶ Lingemann, I. Klein, B., Krahe, P., Nilson, E. (2011). Effects of climate change on the inland waterway networks“ – A coordination action. Poster auf der KLIWAS Statuskonferenz, 25. – 26. Oktober 2011, Berlin.

⁷ Düster, L., Schmukat, A., Luft, A., Ternes, T., Heininger, P. (2011). Klimabedingte Änderungen der Lebensdauer und des Umweltverhaltens von Wasserbaumaterialien in Binnenwasserstraßen und Seeschifffahrtsstraßen. Poster auf der KLIWAS Statuskonferenz, 25. – 26. Oktober 2011, Berlin.

⁸ www.kliwas.de

Diese Ideen von Jonkeren und Demirel könnten nützlich sein, um den Effekt einer höheren Zuverlässigkeit der wasserstandsabhängigen Transportkapazität aufgrund von Infrastrukturmaßnahmen auch in die NKA darstellen zu können. Um diese Überlegungen in der NKA zu berücksichtigen, sollte man zunächst versuchen, den aktuellen Wohlfahrtsverlust aufgrund von suboptimalen Wasserständen einzukalkulieren. Dann können verschiedene Infrastrukturmaßnahmen in Betracht gezogen werden (z. B. Schleusen, Ausbaggern, Buhnen), die einen positiven Effekt auf die zu erwartenden Wasserstände für einen durchschnittlichen Transport (oder für eine repräsentativen Satz verschiedener Transporte) für die gesamte Transportdauer haben. Die Wohlfahrtsgewinne hängen dann von der Reduktion der Transportkosten ab, die sich durch die Verwendung verschiedener und / oder besser ausgelasteter Schiffe ergeben. Vorschläge, wie ein Nutzengewinn aus einer höheren Zuverlässigkeit in der Kalkulation der Abladetiefe dargestellt werden kann, finden sich in Kapitel 9 (Abschnitt „*Schienengüterverkehr und Binnenschifffahrt (Fracht)*“), z.B. Stated Preference Untersuchungen zur Ermittlung der Preis-Seite.

Hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Transportzeit hängen in der Binnenschifffahrt die meisten Fragen mit den Wartezeiten an der Schleuse zusammen oder mit dem Warten auf die Benutzung der Anlagen am Kai für das Be- und Entladen im Hafen. Auf den oft langen Transportrelationen (mit langen Reisezeiten) sind die Wartezeiten meist gut im Voraus zu kalkulieren, so dass die kalkulierten Ankunftszeiten (häufig Zeitfenster) i.d.R. gut eingehalten werden. Inwiefern durch Infrastrukturmaßnahmen (z.B. zusätzliche Schleusenammern), über die tatsächlichen Zeitgewinne hinaus, auch zusätzliche Nutzeneffekte aus einer Steigerung der Zuverlässigkeit erzielt werden, ist zu untersuchen. In der aktuellen nationalen niederländischen Erhebung zu den Zeit- und Zuverlässigkeitskostensätzen im Personen- und Güterverkehr, unter der Federführung von Significance, wurde ein spezielles Stated-Preference-Experiment entworfen, um die Abwägungen im Zusammenhang mit dem Warten an einer Schleuse/Brücke/Kai zu erfassen.

In Kapitel 9 empfehlen wir für die NKA in Deutschland, die Einflüsse von Maßnahmen zur Verminderung der Wasserstandschwankungen auf die Transportkosten der Reedereien miteinzubeziehen.

2.6 Abgrenzung von Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und Robustheit

Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit hängen zusammen, sind allerdings nicht deckungsgleich. Bei Pünktlichkeit handelt es sich um Abweichungen vom Fahrplan (Zug, Bus). Folglich kann für Verkehrsträger, für die keine Fahrpläne erstellt werden (z.B. Pkw), Pünktlichkeit nicht definiert werden. Darüber hinaus wird Pünktlichkeit in der Praxis oft in der Anzahl von Fahrzeugen ausgedrückt, die später als laut Fahrplan vorgesehen ankommen, und nicht in der Anzahl von Passagieren oder Minuten, die die Passagiere verlieren. Darüber hinaus könnten Wohlfahrtsverluste auftreten, selbst wenn der Verkehr hundertprozentig pünktlich ist, weil Pufferzeiten (Puffer) in den Fahrplan eingebaut sind (in der NKA für die BVWP wird dieses über den VTTS übrigens bereits vollständig abgedeckt). Zuverlässigkeit ist daher ein umfassenderer Begriff als Pünktlichkeit, weil sie sich auf alle Verkehrsträger bezieht und mehr Effekte misst.

Es besteht auch ein Zusammenhang zwischen Unzuverlässigkeit und Robustheit. Bei Robustheit geht es um die Frage, was bei Katastrophen geschieht. Darunter werden Ereignisse verstanden,

die sehr selten vorkommen (im Gegensatz z.B. zu Bauarbeiten), aber schwerwiegende negative Folgen haben können, wie zum Beispiel Naturkatastrophen (Überschwemmungen, Erdbeben), Terroranschläge oder eine großflächige Unterbrechung der Energieversorgung. Demnach schließt Zuverlässigkeit grundsätzlich Robustheit mit ein, weil sich Zuverlässigkeit auf die gesamte Reisezeitverteilung bezieht. Graphisch gesehen liegt die Robustheit am rechten Ende (längsten Reisezeiten) der Reisezeitverteilung. Dieses wird illustriert in Abbildung 1. Das im oberen Bild dargestellte Netz ist nicht robust, da die Schließung einer Strecke zu einem vollständig blockierten Verkehrsfluss und sehr langen Verzögerungen führen würde. Im Gegensatz dazu ist das untere Netz robuster, denn selbst bei Streckenausfall kann der Reisende über einen Umweg die Verzögerungen begrenzen. Die Kurve der Reisezeitverteilung ist deshalb steiler und kürzer. Infrastrukturmaßnahmen werden i.d.R. keine Auswirkungen auf derartige Extremereignisse haben (Ausnahme: Es wird durch eine Infrastrukturmaßnahme eine neue Ausweichstrecke geschaffen).

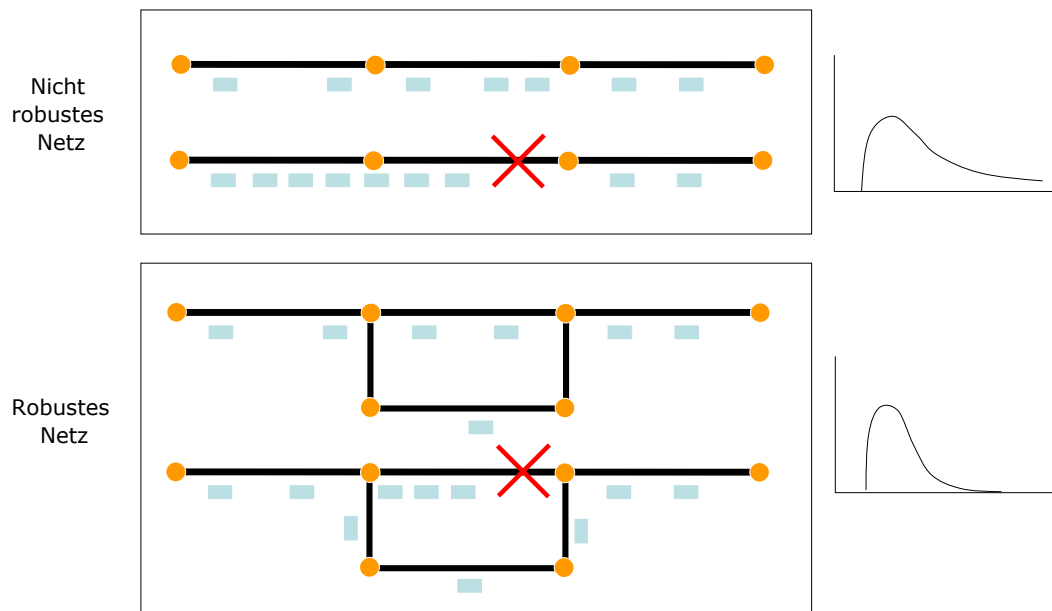


Abbildung 1: Robustheit des Verkehrssystems



Abbildung 2: Zuverlässigkeit des Verkehrssystems (Beispiel: Straßenverkehr) unter verschiedenen Umständen

In Abbildung 2 nehmen wir eine Unterscheidung vor in reguläre (häufig auftretende) und irreguläre (seltene) Umstände, die die beeinflussen. Für den Straßenverkehr können die sich täglich wiederholenden Staus als reguläre Verkehrsverhältnisse angesehen werden, wohingegen unregelmäßige Vorfälle (z.B. Bauarbeiten) auch Verspätungen verursachen. Beim Bahnverkehr misst Pünktlichkeit den Grad des Befolgens des veröffentlichten Fahrplans. Bahnreisende müssen mit wiederkehrenden täglichen Verspätungen (z.B. wegen längerer Haltezeit bei vielen Ein- und Aussteigenden) als normale Umstände rechnen, während z.B. Weichenstörungen oder technische Probleme an Triebfahrzeugen irregulär sind (auch für Linien, wo dies häufig vorkommt, werden die Reisenden nicht darüber informiert, wann diese Probleme auftreten und wie sie sich auf die Reisezeiten auswirken).

Reguläre Verspätungen können zum Teil erwartet sein (z.B. Reisenden haben ihre eigenen Erklärungen in Bezug auf alltägliche Staus; die genaue Verspätung und Reisezeit an einem bestimmten Tag sind aber nicht im Voraus bekannt) oder völlig unerwartet (Verkehrsunfälle). Bei der Binnenschifffahrt sind Schiffsfestfahrungen ein Beispiel für einen Vorfall, der häufig (regulär) und nicht erwartet (nicht vorhersehbar) eintritt. Wasserpegelschwankungen seien dagegen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorhersagbar (Teilweise erwartet) und treten häufig (regulär) auf

Es lassen sich auch zwei Arten von unerwarteten Verspätungen unterscheiden, nämlich zum einen die zufälligen, alltäglichen Schwankungen, welche die Dauer von solchen Fahrten beeinflussen können, die jeden Tag zur gleichen Zeit unternommen werden. Zum anderen lassen sich die gelegentlichen enormen Verspätungen als Folge von besonderen Vorfällen anführen. Wenn also ein Pkw-Fahrer eine Fahrt in Erwägung zieht, muss nicht nur die erwartete durchschnittliche Reisezeit, sondern auch ihre Variabilität berücksichtigt werden, die z.B. durch die

Standardabweichung der Reisezeitverteilung quantifiziert werden kann. In der Binnenschifffahrt zum Beispiel können extreme Wetterumstände zu unerwarteten, irregulären Verspätungen führen.

Deshalb kann Unzuverlässigkeit in eine reguläre Unzuverlässigkeit und eine irreguläre Unzuverlässigkeit unterschieden werden, wobei letzteres in die Definition von Robustheit aufgenommen werden kann. Für eine Einbeziehung in der NKA ist die vom Reisenden/Spediteur empfundene Zuverlässigkeit am relevantesten.

In den meisten Studien zur Robustheit, betrachten Wissenschaftler mögliche Ereignisse, die weniger als einmal pro Jahr auftreten. Insofern betrifft dies weniger als 1% der Reisezeitverteilung. Verkehrsunfälle fallen der Definition nach aufgrund ihrer Häufigkeit nicht unter Robustheit, doch wohl unter Zuverlässigkeit. Unfälle werden jedoch in praktischen Studien zur Zuverlässigkeit oft nicht betrachtet, weil es Schwierigkeiten gibt in der abschnittsspezifischen Vorhersage von Unfälle und die Folgen von Unfälle auf die Zuverlässigkeit. Man kann nicht davon ausgehen, dass die Reisenden und Entscheidungsträger im Güterverkehr Überlegungen zur Robustheit bei ihren Entscheidungen berücksichtigen (im Gegensatz zur erwarteten / angekündigten Variabilität, die sie aus der täglichen Erfahrung wissen können, oder von Ankündigungen von Baustellen etc.). In der Regel berücksichtigen sie nicht die Auswirkungen von Verkehrsunfällen auf die Reisezeit, geschweige denn die von Katastrophen. Grundsätzlich schließt Zuverlässigkeit die Robustheit mit ein, weil sich Zuverlässigkeit auf die gesamte Reisezeitverteilung bezieht. In der Praxis könnte es aber gerechtfertigt sein, das äußerste rechte Ende der Reisezeitverteilung zu vernachlässigen. Ob dies ohne weiteres möglich ist, hängt von den Wahrscheinlichkeiten und möglichen Schäden der Katastrophen ab, die in der Regel äußerst schwierig vorherzusagen sind. Die Frage ist hier, ob man die Infrastrukturentscheidungen auf der Basis der normalen Umstände treffen will (und dabei möglicherweise die meiste Variation um diese Umstände einbezieht), oder auch einige sehr seltene Fälle berücksichtigt. Dies ist im Grunde eine politische Entscheidung. Bewertungsrelevant ist, was durch die Infrastrukturmaßnahme tatsächlich beeinflusst wird (Differenz aus Bezugsfall und Planfall). Auf Katastrophen haben Infrastrukturmaßnahmen i.d.R. keinen Einfluss (Ausnahme: Schaffung einer Ausweichstrecke).

Die aktuellen Bestrebungen in den Niederlanden, Skandinavien und Großbritannien, die Zuverlässigkeit in der NKA zu berücksichtigen, beziehen sich ausschließlich auf die reguläre Zuverlässigkeit: Man geht dabei davon aus, dass die Reisenden und Akteure im Güterverkehr eine realistische Vorstellung von der Höhe der Variabilität haben: Sie kennen die Reisezeitverteilung, wissen jedoch nicht, welcher Fall konkret an einem bestimmten Tag (in einem bestimmten Zeitraum) eintritt. Nicht berücksichtigt werden irreguläre Verspätungen.

3. Interviews

3.1 Überblick

Es ist möglich, dass die Zuverlässigkeit der Reisezeit von Transportplanern und Wissenschaftlern anders definiert wird als von Entscheidungsträgern im Güterverkehrssektor. Um mehr über diese Auffassung zu erfahren, sind wir in der Definitionsphase dieser Studie auch der Frage nachgegangen, wie Zuverlässigkeit im Güterverkehrssektor verstanden wird. Hierzu wurden ca. 50 Verlader, Transportunternehmen im Straßenverkehr und Binnenschifffahrt, sowie Eisenbahnverkehrsunternehmen des Güterverkehrs befragt. Wir haben hier Verlader zu der Liste mit Interviewpartnern hinzugefügt, die wir zu ihrem Verständnis von Zuverlässigkeit befragen wollen (Verlader mit Werkverkehr und Verlader, die den Transport an ein Transportunternehmen outsourcen), da Verlader auch von Veränderungen der Zuverlässigkeit der Reisezeit beeinflusst werden. Aufgrund von Verspätungen können Güter länger als geplant unterwegs sein (was zu höheren Kapitalkosten und möglicherweise Verderben von Gütern führen kann), die Firma, die die Waren empfängt, muss möglicherweise für längere Öffnungszeiten sorgen, um die Lieferung entgegenzunehmen (oder früher öffnen, im Falle einer früheren Lieferung), die Lagerbestände einer Firma können zu Ende gehen, etc.

Es wurden teilstandardisierte Tiefeninterviews durchgeführt, bei denen es um das Bewusstsein, Wahrnehmung und betriebliche Definition von Zuverlässigkeit der Transportzeiten in Bezug auf eingehende und ausgehende Warenströme (Verlader) sowie Transportdienstleistungen (Transportunternehmen) ging. Die Fragen waren zum einen allgemein, und bezogen sich zum anderen auf eine bestimmte Sendung, wobei die drei Verkehrsträger Wasserstraße, Schiene und Straße berücksichtigt wurden.

Die Interviews verteilen sich auf die Verkehrsträger Straße, Eisenbahn, und Binnenschifffahrt. Darüber hinaus wurde eine Unterscheidung in Güterverkehr und Wirtschaftsverkehr, Güterklassen (z.B. Nahrungs- und Futtermittel; Erze und Metallabfälle) und Unternehmensgröße (kleine und große Unternehmen) vorgenommen, so dass die Interviews thematisch gleichmäßig verteilt sind. Wir konzentrierten uns vor allem auf Transportunternehmen. Es wurden aber auch Interviews mit einigen Verladern und Fachverbänden durchgeführt (siehe Rechtfertigung weiter oben)

Aufteilung der 50 Interviews im Wirtschaftsverkehr:

- 28 Straße
 - Verlader: 8
 - Transportunternehmen/Spedition: 12
 - Fachverbände: 5
 - Vermittler: 1
 - Häfen: 2
- 10 Eisenbahn
 - Verlader: 6
 - Transportunternehmen: 4
- 12 Binnenschifffahrt (Güterverkehr)
 - Verlader: 3
 - Transportunternehmen: 5
 - Fachverbände: 3
 - Binnenhafen: 1

Einige dieser Beteiligten verladen oder transportieren mit mehreren Modalitäten. In dieser Übersicht sind diese in der für sie wichtigsten Modalität eingeteilt.

Sechs Teilnehmer dieser 50 Beteiligten wurden außerdem zum Thema Geschäftsverkehr (1 Fachverband (ADAC), 4 Verlader und 1 Transportunternehmen) befragt.

3.2 Interviews Straßenverkehr

3.2.1 Interviewpartner zur „Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs in Straßenverkehr“

Im Anhang 1 findet sich eine Liste mit den Namen der zum Thema Straßenverkehr befragten Unternehmen, unter Angabe der Interviewart (telefonisch, Email).

3.2.2 Allgemeine Angaben

Die befragten verladenden Unternehmen sind sehr breit gefächert in folgenden **Logistiksegmenten** tätig: Massengut, Ladungsverkehr Komplettladungen, Teilladungsverkehr, Stückgut, Projektladungsverkehr, Kontraktlogistik, Terminallogistik, Warehousing, Seelogistik (Short Sea und Deep Sea Bereich), Luftfracht, Automobillogistik.

Die **Produktpalette** der Unternehmen umfasst eine große Vielfalt an Produkten, unter anderem Lebensmittel, Healthcare, Automotive, Elektrotechnik, mechanische Komponenten, Hausgeräte und Materialien zur Herstellung von Hausgeräten, Papier, Stückgüter, Paletten, Automobil-Bauteile, Fertigfahrzeuge. Die meisten der befragten verladenden Unternehmen setzen grundsätzlich alle **Transportmittel** ein, nämlich LKW/Strasse, Bahn, Schiff (Seeschiff und Binnenschiff) und Flugzeug. Es gab aber auch Verlader, die nur den LKW als Transportmittel verwenden, z.B. zur Belieferung von Supermärkten. Als **Kommunikationstechnik** werden zur

Übermittlung von Aufträgen Internet, Email, Fax oder Telefon eingesetzt. Während des Transportes werden häufig Email und Telefon eingesetzt; die meisten Fahrer sind mit Handys ausgerüstet und verfügen über Navigationssysteme. Zur Sendungsverfolgung wird tracking & tracing mittels GPS, DFÜ (Datenfernübertragung), EDI (Electronic Data Interchange) und Scanner eingesetzt.

3.2.3 Definition von Zuverlässigkeit

Die Befragten gaben unterschiedliche Definitionen von Zuverlässigkeit an:

- Ein Transport ist dann zuverlässig, wenn er zu den geplanten Kosten im Lieferzeitfenster erledigt wird.
- Wenn der Spediteur gefragt wird, ob ein bestimmter Transport gemacht werden kann und dies zugesichert wird, dann bedeutet das für den Verlager 100% Zuverlässigkeit.
- Eine vernünftige Planung, die auch mit den Örtlichkeiten abgestimmt ist.
- Partner sollen zuverlässig sein im kombinierten Verkehr. Spediteure werden selektiert auf der Basis von Erfahrung und positiven Referenzen.
- In der Praxis wird der Transport auf den Liefertermin ausgerichtet. Es muss nicht unbedingt schnell gehen, der Termin ist wichtig.
- Pünktlichkeit: Die Waren sollen je nach Anforderung in der richtigen Menge, Zeit und Qualität geliefert werden.
- Vertraglich vereinbarte und avisierte Zeitfenster für die Abholung bzw. Anlieferung werden eingehalten.

Am häufigsten wird der Informationsfluss in Richtung Kunde genannt. Es ist wünschenswert, dass sich der Spediteur pro-aktiv meldet, wenn es zu Verspätungen kommt, so dass neue Termine vereinbart werden können.

Pünktlichkeit von Lieferungen wird gemessen durch den Vergleich der Plan-Lieferzeitfenster mit den Ist-Anlieferzeiten oder mit KPIs (Key Performance Indicators). Wenn ein Lkw einer Spedition zu spät (oder gar nicht) an die Versandstelle oder den Umschlagplatz kommt, erfolgt eine **Negativmeldung** an die Zentrale des Verladers. Sie können die Verspätung messen und entsprechende Maßnahmen ergreifen. Im Grunde ist die Anforderung an den Spediteur, dass er absolute Tagesfertigkeit (alle geplanten Transporte am selben Tag geliefert) erbringen muss.

Unzuverlässigkeit im Straßenverkehr äußert sich durch verspätete Anlieferungen. Dadurch können Probleme entstehen mit der Arbeitszeit und den Lenk- und Ruhezeiten der Fahrer.

Gründe von Verspätungen im Straßenverkehr sind Verkehrsstaus, Baustellen, Pannen, Unfälle, zugeparkte Ladezonen, Witterungsverhältnisse, schlecht geräumte Straßen im Winter und nicht genügend Transportkapazitäten von Anbietern (höhere Nachfrage als Verfügbarkeit von Transporten). Die meisten Verspätungen treten bei dem Transport von der Quelle zum Ziel auf, aber auch durch Prozess-, IT- oder Technikprobleme. **Schwachstellen** hierbei sind die hohe Verkehrsdichte, die vielen Baustellen (insbesondere die Tagesbaustellen) und Ablieferung/Abholung von Waren im Stadtzentrum. In Ballungsgebieten sind die **Transportzeiten unsicherer** (meist länger) als im Umland.

Als **sehr zuverlässig** werden die geplanten Standzeiten bei Be- und Entladung am Standort und beim Kunden erfahren. Im kombinierten Verkehr gilt der Schienenanteil als sehr zuverlässig. Als

sehr unzuverlässig werden der Transport in Ballungsgebieten zu den Hauptverkehrszeiten (die letzte Meile), Seeverkehr (Schiffe die nicht pünktlich sind durch Stürme im Atlantik oder starken Wind) und Umschlag im Hafen genannt.

Die **Planungen** im Straßenverkehr werden abhängig vom Logistiksegment, Kunde, Anforderung und Bedarf im Voraus geplant. Planungen können bis zum Beladungsbeginn durch den Fahrer aktualisiert werden. Hierfür kommen die folgenden Gründe in Frage:

- kurzfristig muss ein anderes Fahrzeug eingesetzt werden,
- Abweichungen in der Produktion,
- geänderte Prioritäten,
- Werbe-Kampagnen, Verkaufsaktionen.

Bei **Verspätung** ist es wichtig, die Kunden über die Verzögerung zu informieren. Abhängig vom Transport und Kunden wird bei Verspätungen die Lieferzeit oder das Lieferdatum verschoben, ein direkte Lieferung (speed delivery) ohne Umschlagplatz durchgeführt, es werden Sondertransporte eingesetzt oder der Transport wird abgebrochen, weil er nach der Verzögerung nicht mehr nötig ist.

Normalerweise stellen Transporte die zu **früh ankommen** keine großen Probleme dar. Im Allgemeinen gilt lieber zu früh als zu spät. Wenn möglich, wird versucht früher zu entladen, wobei die Kommunikation mit den Kunden essentiell ist. Es kann sein, dass der vorgesehene Ladeplatz noch nicht frei ist und dann muss der Lkw warten. Die meisten Kunden verfügen jedoch über ausreichende Kapazität. Aber frühere Ankunftszeiten können auch Warteschlangen verursachen und infolgedessen Probleme im Lager. Änderungen des Zeitplans sorgen für Probleme und können mehr Chaos verursachen als der Nutzen aus früherem Beladen bzw. Entladen.

Im **Vorfeld** wird auf erwartete Verspätungen durch Anpassung der strategischen Planung auf die erwarteten Störgrößen reagiert. Es werden Anpassungen in der strategischen Tourenplanung vorgenommen, um Störungen (z.B. Änderung der Verkehrsführung, Dauerbaustellen, Großereignis) zu berücksichtigen.

Um die Zuverlässigkeit von Unternehmensaktivitäten zu erhöhen, gibt es Verlader, die einen **Qualitäts-Wettbewerb** für die Spediteure haben. Der Wettbewerb besteht in der Beurteilung der verschiedenen Bereiche, u.a. Lieferpünktlichkeit. Damit ist eine Bonus-Zahlung verbunden. Die Spediteure, die den Zuschlag erhalten, werden mit einem Bonus belohnt und der Verloader profitiert von maximaler Qualität. Normalerweise ist das Vertrauen von Verloader in die Spediteure sehr hoch, über 90 %. Durch die Qualifizierungsprozesse ist alles sehr gut auf einander eingespielt, wodurch Unzuverlässigkeit für einige Verloader kein großes Problem darstellt.

Früher hatte man mehr Vorlaufzeit im Transportplanungsprozess als heutzutage; eine gute Planung wird daher immer wichtiger. Die neuen Kommunikationstechniken führen zu schnelleren und flexibleren Abläufen. Allerdings können die Transporte dadurch unzuverlässiger werden. Ein Fahrer kommt zum Beispiel zum Terminal oder Hafen und weiß nur, dass er eine Ladung bekommt für Berlin, aber nicht welche Güter und welche Adresse. Er hat noch keine

detaillierte Information bekommen. Die Verantwortlichkeit, um solche Missverständnisse zu vermeiden, liegt beim Spediteur. Dadurch braucht man mehr Zeit um herauszufinden, welche Ladung (Container) mitgenommen werden soll, zu welcher Adresse und das hat auch wieder Folgen für die Folgetransporte und damit für alle Beteiligten.

Zum Thema Zuverlässigkeit wird oft angemerkt, dass der **menschliche Faktor** sehr wichtig ist. Dazu werden Objektivierungen gemacht. Zum Beispiel: Wenn ein Mitarbeiter einer Verstandstelle gute Beziehungen hat mit Spediteur A und weniger gute mit Spediteur B, dann kann er eine Negativ-Meldung an B geben bei 10 Minuten Verspätung und keine bei A mit einer halben Stunde Verspätung. Durch Einführung von elektronischen Tools wird versucht, hierin eine Objektivierung zu erreichen.

Spediteure müssen hierzu ein Zeitfenster buchen und an der Pforte wird überprüft, ob das Zeitfenster eingehalten ist oder nicht. Diese Information wird gespeichert. Dann kann man einen objektiven Vergleich machen, welcher Prozentsatz der Transporte das Zeitfenster eingehalten hat.

Saisonale Effekte: Transporte von Hausgeräten sind sehr saisonabhängig. Die Transportmengen können Differenzen von bis zu 250 % aufweisen, was eine hohe Herausforderung für die Tagesfertigkeit darstellt.

3.2.4 Ausblick zur Zuverlässigkeit im Straßenverkehr

Hinsichtlich der **zukünftigen Entwicklung** der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs wird es durch die prognostizierte Zunahme der Verkehrsdichte (u.a. durch Internetversandhandel) schwieriger, die immer kleiner werdenden Lieferzeitfenster einzuhalten. Durch Kapazitätsprobleme wird die Stauanfälligkeit des Verkehrssystems größer und somit die Unzuverlässigkeit steigen. Durch die wachsenden Volumina werden die Verkehrsträger Bahn und Binnenschifffahrt immer wichtiger.

Vorschläge, um die Zuverlässigkeit in Bezug auf Straßenverkehr zu verbessern, sind die folgenden:

- Bessere Planung von Tagesbaustellen (nicht in den Hauptverkehrszeiten).
- Höhere Umschlagsgeschwindigkeit im Schienenverkehr. Dadurch kann evtl. Transport von der Straße auf die Schiene verlagert werden.
- Steuerung der Verkehrsströme durch intelligente Systeme.
- Neue Konzepte der City-Logistik.
- Ausbau der Infrastruktur (netzbezogen) und Lagerhäuser.
- Besser funktionierende Zollabfertigung.
- Bei Ausbaustrecken verstärkt Telematik einsetzen.

3.3 Interviews Schienenverkehr

3.3.1 Interviewpartner zur „Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs in Schienenverkehr“

Im Anhang 1 findet sich eine Liste mit den Namen der zum Thema Schienenverkehr befragten Unternehmen, unter Angabe der Interviewart (telefonisch, Email)

3.3.2 Allgemeine Angaben

Die befragten verladenden Unternehmen sind in folgenden **Logistiksegmenten** tätig: Massengut, Ladungsverkehr Komplettladungen, Teilladungsverkehr, Terminallogistik und Hafendienstleistungen.

Die **Produktpalette** der Unternehmen umfasst eine große Vielfalt an Produkten, unter anderem Kohle, Stahl, Windkraftanlagen, Baustoffe, Maschinenteile, Holz, Papier, Chemische Stoffe, Gefahrgüter, Abfälle, Sand, Abfälle, Pkws, containerisierbare Güter.. Als **Kommunikationstechnik** werden im Transport häufig Email und Telefon eingesetzt. Zur Sendungsverfolgung werden interne Systeme genutzt, die Statusmeldungen verarbeiten wie Beladungszeitpunkt, Fahrtbeginn, Verzögerungen, Entladung usw.

3.3.3 Definition von Zuverlässigkeit

Zuverlässigkeit wurden von den Befragten unterschiedlich definiert:

- Pünktlichkeit in Bezug auf Abfahrt und Ankunft
- Einhalten der getroffenen Absprachen ist das einzige Kriterium.
- Lieferungen, die innerhalb einer gewissen Zeitspanne beim Empfänger ankommen (bis zu 1-2 Stunden wird als zuverlässig eingestuft).
- Ohne Verspätung liefern
- Der Kundenwunsch ist das wichtigste.

Als mögliche Maße für die Zuverlässigkeit werden die Pünktlichkeit von Lieferungen, die Kundenzufriedenheit und die Zahl der ausgefallenen Züge herangezogen. Dabei wird untersucht (und in Tages/Monat/Jahresberichten berichtet), wo die Gründe von ausgefallenen Zügen (z.B. Umschlag, Kunde) liegen.

Im Allgemeinen werden die Transporte mit der Bahn als zuverlässig erfahren (nahezu 100%). Unzuverlässige Abschnitte sind Verkettung, Vorlauf, Beladen, Entladen und internationaler Verkehr.

Gründe von Verspätungen im Schienenverkehr sind Baustellen, Ladestörungen, gestörte Lokumläufe, Probleme bei der Bereitstellung von Lokomotiven, unflexible Transportkonzepte, Zoll oder Container die bei Abfahrt nicht freigestellt sind, Personalprobleme (Lok-Führer, der beim Wechsel fehlt), entwendete Oberleitung, Witterungsverhältnisse, hohe Auslastung des Schienen-Netzwerks und Vorrang des Personenverkehrs. Jede Jahreszeit kennt seine eigenen

Risiken: im Winter Eis/Schnee, im Herbst Laub auf der Schiene, im Sommer die Hitze (Erweiterung von Schiene oder Brände am Bahndamm), im Frühling Überschwemmungen.

Aber relativ gesehen (im Vergleich mit Straßenverkehr und Binnenschifffahrt) gibt es im Schienenverkehr wenige Verspätungen.

Mit Verspätungen wird wie folgt umgegangen:

- Es wird versucht, die Rangierarbeiten zu beschleunigen. Oft fehlt die Infrastruktur im Hinterland. Gleisanlagen von DB Netz sind nicht angebunden, so dass Züge nicht mehr gepuffert werden können.
- Die Kunden werden durch den Verloader oder das Eisenbahnverkehrsunternehmen darüber informiert, dass die gewünschten Termine mit der Bahn nicht eingehalten werden können. Dann kann der Kunde sagen, dass er direkt einen Lkw bucht. Alternativ wird ein neuer Liefertermin vereinbart.

Im Schienenverkehr gibt es meistens eine Jahres- oder Halbjahresplanung, z.B. für die Container. Aber es gibt auch Ad-Hoc Verkehr für z.B. Papierzüge. Die Planungen werden 1 Tag bis 1 Woche voraus konkretisiert durch den Eisenbahnverkehrsunternehmen in Absprache mit DB Netz und der Verloader. Jeden Tag wird eine Feinplanung gemacht, weil es z.B. Personalübergänge oder Lok-Übergänge gibt. Etwa 10% der Transporte ist kurzfristig (< 1 Woche).

Ein Zug oder Wagen ist durchschnittlich 15 Stunden im Hafen (5 Stunden Zugbildung vor Slot Gestellung, 5 Stunden Slot und 5 Stunden Zugbildung zum Abfahrt). Die Züge fahren nicht in einen sondern in mehrere Terminals.

Normalerweise stellen Transporte, die verfrüht **ankommen**, keine großen Probleme dar. Es herrscht dabei relativ große Flexibilität. Wenn möglich, bekommt der Kunde die Waren früher, ansonsten wird in der Nähe der Bahnhofs gepuffert. Die Informationsweitergabe an die Kunden ist wichtig, so dass sich z.B. etwa das Entladungspersonal hierauf einstellen kann. Wenn es nicht genügend freie Kapazitäten der Infrastruktur im Hafen gibt, kann das verfrühte Ankommen für Probleme sorgen.

Zur Bedeutung **saisonalen Effekte** für die Zuverlässigkeit gibt es unterschiedliche Meinungen. Einige der Befragten sagen, dass die Effekte gering sind, andere meinen, dass alle Teile in der ganzen Kette ein bisschen schwieriger werden und dass jeder Schritt etwas länger dauert. Zum Beispiel: Kohl kann im Winter gefrieren und kann dann nicht beladen werden. In großen beheizten Hallen können die Kohlen dann gelagert werden. Es gibt wenige Kraftwerke, die keine Auftau-Entladung haben. Allerdings unterscheidet sich die Zeitplanung im Winter nicht vom Sommer, aber doch wird mehr Personal eingesetzt (z.B. um die Gleise vom Schnee zu befreien).

Auf erwartete Verspätungen wird im Vorfeld durch eine Anpassung der strategischen Planung und Information an die Kunden reagiert. Verzögerungen werden, wie beim Straßenverkehr, zu einem gewissen Grad eingeplant und führen zu erhöhten Lagerbeständen beim Empfänger, so dass erhöhte Kosten die Folge sind.

Aktivitäten um die Zuverlässigkeit zu erhöhen, sind z.B. das effizientere Einsetzen von Güterwagen, genauere Kundeninformationen, Minimierung von Verzögerungen und Ausfallgründen, zusätzliches Personal und Schulung von Mitarbeitern. Auch das Wachstum des Verkehrsaufkommens auf bestimmten Relationen wird bereits antizipiert.

Abhängig von den Relationen gibt es erhebliche Unterschiede. Die Anforderungen für kurze Transporte sind ganz anders als für internationale Transporte. Im Regionalbereich gibt es z.B. keinen Lok- oder Systemwechsel. Bei internationalen Verkehren gibt es mehrere Beteiligte. Zudem wird die Abwicklung komplexer durch den Wechsel von Personal, Schnittstellenproblematik und Informationsflüsse.

3.3.4 Ausblick zur Zuverlässigkeit in Schienenverkehr

Hinsichtlich einer Einschätzung der **zukünftigen Entwicklung** von Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs im Schienenverkehr wird erwartet, dass die Anzahl der Schienentransporte weiter wachsen werden. Zunehmende Gütertransporte mit der Bahn sind jedoch begrenzt durch die Kapazität der Schiene. Dies stellt weniger ein Kapazitätsproblem auf den Strecken also auf den Knotenbahnhöfen dar. Auch die Anbindungen sind derzeit noch sub-optimal.

Durch das wachsende Güterverkehrsaufkommen werden die Träger Bahn und Binnenschifffahrt immer wichtiger. Deshalb wird das Einhalten von Pünktlichkeit schwieriger, es gibt mehr Aufträge, mehr Züge, weniger Pufferkapazität und das Fehlen von Personal oder Material wird kritischer.

Durch Hubterminals wird das Rangieren von Waggons besser organisiert und man bekommt mehr Kontrolle über die Pünktlichkeit.

Vorschläge, um die Zuverlässigkeit in Bezug auf Schienenverkehr zu verbessern, sind die Folgenden:

- Netzbau,
- Ausbildung von Personal,
- Bestehende Infrastruktur optimieren,
- Engpässe von Loks, Bahnhöfen, Knotenpunkte optimieren.

3.4 Zusammenfassung Interviews Güterverkehr Straße und Bahn

Die Interviews wurden entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers quasi-strukturiert ausgeführt. Das bedeutet, dass aus einer Liste mit Fragen an jede Partei eine Reihe von Fragen zu den sieben hierunter genannten Themen gestellt wurden, aber dass nicht jeder Partei die gleichen Fragen gestellt wurden:

- Angaben zum Unternehmen
- Transportorganisation des Unternehmen
- Beschreibung eines typischen Transportauftrags
- Definition von Zuverlässigkeit
- Folgen von Verspätungen (ökonomisch und sonstige)
- Reaktionen im Vorfeld (strategische/taktische Herangehensweise)

- Ausblick und Vorschläge

Die Antworten waren divers, ohne ein stark einheitliches Bild zu bilden, was erklärbar ist durch die Diversität an Unternehmungstypen, die interviewt wurden.

Bezüglich der Definition von Zuverlässigkeit nannten die Befragten als wichtigsten Aspekt die Benachrichtigung des Kunden. Der Transportdienstleister sollte sich also pro-aktiv melden, wenn es zu Verspätungen kommt und dann neue Termine vereinbaren. Auch bei zu früher Ankunft ist die Kommunikation mit dem Kunden wichtig um abzustimmen ob etwa eher entladen werden kann.

Im Allgemeinen werden die Transporte mit der Bahn als zuverlässig erfahren (nahezu 100%). Im Vergleich mit Straßenverkehr und Binnenschifffahrt gibt es beim Schienenverkehr wenig Verspätungen. Unzuverlässige Abschnitte sind Verkettung, Vorlauf, Beladen, Entladen und internationaler Verkehr.

Unzuverlässigkeit im Straßenverkehr äußert sich durch verspätete Anlieferungen. Dadurch können Probleme entstehen mit der Arbeitszeit und den Lenk- und Ruhezeiten der Fahrer.

Mehrere befragte Verlader geben an, dass Unzuverlässigkeit für sie kein relevantes Thema ist, weil ihre internen Prozesse sehr gut aufeinander abgestimmt sind. Zunehmend werden elektronische Tools eingesetzt. Damit wird eine Objektivierung erreicht, wodurch der menschliche Faktor zum Thema Unzuverlässigkeit stets weniger wichtig wird.

Die Befragten erwarten, dass es durch die prognostizierte Zunahme der Verkehrsdichte (u.a. durch Internetversandhandel) schwieriger wird, die immer kleiner werdenden Lieferzeitfenster einzuhalten. Durch Kapazitätsprobleme wird die Stauanfälligkeit des Verkehrssystems vergrößert, wodurch die Unzuverlässigkeit zunimmt. Durch die wachsenden Volumina werden die Verkehrsträger Bahn und Binnenschifffahrt immer wichtiger. Die Befragten haben mehrere Vorschläge gegeben um die Zuverlässigkeit zu verbessern.

3.5 Interviews Binnenschifffahrt

3.5.1 Zuverlässigkeit in der Binnenschifffahrt in Abgrenzung zu anderen Verkehrsträgern

Bei der Binnenschifffahrt ist, wie bei den übrigen Verkehrsträgern, nicht die kürzeste Transportdauer entscheidend, sondern die Lieferung innerhalb eines bestimmten (vereinbarten) Zeitraums. Allerdings sind die Zeitfenster bei der Binnenschifffahrt meist größer als bei Straße/Schiene.

Im Vergleich zum Transport mit der Bahn oder auf der Straße ist die Binnenschifffahrt weniger zeitsensibel. Dabei sind bei dem Begriff „zeitsensibel“ zwei Aspekte von Belang, a) die Dauer des Transports b) Just in time (JiT). Im Allgemeinen handelt es sich bei den verschifften Gütern nicht um Handelsgüter, sondern vor allem um Massengüter, Flüssiggüter, Container etc. Die Frage ist dabei von Seiten der Verlader, zu welchem Grade sich die Ladungen konsolidieren lassen und wie sich das auf den Frachtpreis auswirkt. In Bezug auf JiT bilden die Binnenhäfen einen Puffer für etwaige Unzuverlässigkeiten in der Warenkette. Demnach spielt in der Binnenschifffahrt vor allem der zweite Aspekt eine Rolle. Die Dauer des Transports wird als eher zweitrangig eingestuft. Längere Fahrzeiten führen jedoch nicht unbedingt zu mehr

Zuverlässigkeit. Entscheidend ist, wieviel Zeitraum dem Spediteur als Dispositionszeit zur Verfügung steht.

Unter den Befragten herrschte Einigkeit bezüglich der Definition von **Zuverlässigkeit als das termingerechte Eintreffen beim Kunden**. Alle Befragten nannten **Probleme mit dem Wasserstand** (Schwankungen des Wasserstands, Hoch- und Niedrigwasser) als häufigste und schwerwiegendste Ursache für die Unzuverlässigkeit bei der Binnenschifffahrt. Dadurch werden die Transporte weniger kalkulierbar, stellen also eine Herausforderung für die Disposition dar. Wenn allerdings der Transport erst einmal unterwegs ist, dann ist die Gefahr von Verzögerungen geringer, da die Wasserstände kurzfristig gut zu kalkulieren sind bzw. man sich auf Erfahrungswerte verlässt. Das Problem für die Binnenschifffahrt besteht darin, dass sich die Abladetiefe eventuell sehr stark von den Annahmen zum Zeitpunkt des Vertragsschlusses zwischen Verloader und Reederei (z.B. ein halbes Jahr vor dem konkreten Transportauftrag) unterscheidet. Die in den langfristigen Verträge vereinbarten Transportpreise basieren auf gewissen Erwartungen bezüglich der Abladetiefe; diese wiederum hängt von den Wasserständen ab, welche zwar einige Tage, nicht aber Monate im Voraus, eingeschätzt werden können. Die Schwankungen des Wasserstands haben folgende **Auswirkungen**: 1) Einschränkung der Geschwindigkeit und 2) Verringerung des Ladevolumens (sowohl bei Hoch- als auch bei Niedrigwasser). Die Befragten gaben an, aufgrund der schwankenden Wasserstände die Pegel kontinuierlich zu beobachten und im Notfall auf den LKW oder multimodal Angebote auszuweichen.

3.5.2 Reedereien/Speditionen

Allgemeine Angaben

Die befragten Unternehmen betätigen sich vor allem in folgenden **Logistiksegmenten**:

- Rohstofflogistik, z.B. Zement, Erze, Glas, Kohle, Stahl, Schlacke, Kies/Sande, Düngemittel, Steine, Erden, Futtermittel, Getreide, Salz
- Containertransporte
- Projektladungsverkehre (Brückenteile, Generatoren, große Baumaschinen, Windanlagen)
- Flüssiggüter

Hinsichtlich der **Zeitsensibilität** bestehen beim Transport mit dem Binnenschiff in der Regel große Zeitfenster, die Transporte sind daher weniger zeitsensibel; dies ist allerdings produktabhängig. Im Minimalfall geht es um ein Zeitfenster von einigen Stunden. Beim Projektladungsverkehr lauten die Zeitfenster: Laden am Tag x und Löschen am Tag Y.

Der **Planungszeitraum** wird durch den Verloader definiert, wobei der Verloader entsprechende Zeitfenster angibt. Im Kontrakt werden z.T. bestimmte Transportmengen festgelegt. Die Planung kann sich auf einen Monat im Voraus oder länger belaufen. Bei Spottgeschäften beträgt der Nominationszeitraum (Nennung des Schiffs und Ladeorts) mindestens drei Tage für ein Tankschiff. In einem Fall (Reederei „Schwabens“) werden die Transporte im Allgemeinen 24 Stunden im Voraus geplant. Es muss jederzeit (täglich) mit unsicheren Transportzeiten gerechnet

werden. Die Planungen werden kurz- (z.B. tagesaktuell) und mittelfristig aus folgenden Gründen aktualisiert⁹:

- Auswirkungen der aktuellen Wasserstände auf die Abladetiefe (Mangel an konstanter Wasserführung),
- Bedarfsschwankungen,
- Produktionsschwankungen,
- Veränderungen in der Logistikkette.

Definition von Zuverlässigkeit

Bei der Definition von Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs stehen Aspekte der **Planbarkeit** und **Pünktlichkeit** in Verbindung mit **Kundenvereinbarungen** (z.B. 95% Einhaltung der Termine) im Vordergrund. Die **Versorgungssicherheit** spielt besonders bei Vertragskunden eine Rolle, d.h. die Gewissheit für den Verloader, dass die Transporte auch in Zeiten von knappen Kapazitäten (Angebotsseite) durchgeführt werden.

Schwachstellen der Binnenschifffahrt bzgl. Zuverlässigkeit

Bei der Binnenschifffahrt sind die Vorstrukturen ein Problem für die Zuverlässigkeit, d.h. eine längere Planbarkeit im Vorlauf wäre wünschenswert; dies könnte vor allem durch eine konstante Wasserführung erreicht werden. Eine größere Zuverlässigkeit hinsichtlich der schiffbaren Mindesttiefe garantiert auch eine bestimmte Abladetiefe, mit denen die Reedereien kalkulieren können. Allerdings gibt es auch Faktoren im Vorlauf, die auch durch Infrastrukturmaßnahmen unberührt blieben: Die Distributions- und Beschaffungsmärkte verschieben sich global; Verloader wechseln schnell zu neuen Zulieferern. Die witterungsbedingten Verzögerungen sind weitgehend vorhersehbar (z.B. Unwetter).

Folgende **Gründe** für Unzuverlässigkeit lassen sich anführen:

- Witterungsbedingt: Eis, Hoch- oder Niedrigwasser
- Verzögerungen an der Lade- und Löschstelle (wegen Überlastung, nicht effiziente Be- und Entladung der Gestelle, Staus)
- Verzögerungen durch Produktionsausstoß (abhängig vom Marktsegment: eher ein Problem in der Fertiggüterbranche und nicht bei Massengütern)

Die **Folgen** der Verspätungen bzw. Unzuverlässigkeit sind:

- Auslastung der Kapazität: der Tragfähigkeitsverlust steigt exponentiell bei Niedrigwasser; Fazit: Je niedriger der Wasserstand, umso größer der Tragfähigkeitsverlust.
- Flottengestaltung

⁹ Zum Umgang bei unmittelbaren Störungen während der Fahrt (z. B. Verzögerungen an der Schleuse), siehe Abschnitt Schwachstellen der Binnenschifffahrt bzgl. Zuverlässigkeit.

- Bindung der Kapazität
- Geänderte Disposition
- Bei begrenzter Kapazität, z.B. verursacht durch niedrigen Wasserpegelstand, liegt Priorität bei den Vertragskunden: Verträge mit Kunden müssen auf jeden Fall erfüllt werden; der Spottmarkt wird infolgedessen in diesen Perioden weniger bedient.

Umgang mit Unzuverlässigkeit

- Geschickte Disposition: Man versucht, Risiken so gut wie möglich im Voraus einzuschätzen bzw. in der Gesamtplanung zu berücksichtigen, z.B. Baustellen)
- Bei Vorfällen während des Transports: Warten, z.B. an Schleusen (anders als beim LKW bestehen keine Ausweichmöglichkeiten)
- Im Extremfall (Sperrung der Wasserstraße): Umlagern auf Straße/Schiene (trimodale Zusammenarbeit)
- Vorsichtige Bindung der Kapazität (Puffer): Minimierung von transportbedingten Störungen durch (zeitliche als auch physische) Puffer, da immer Störungen auftreten können; Puffer hängt immer zusammen mit dem Wert der Endleistung; Kunde wird für Versorgungssicherheit bezahlen (zus. Kapazität ausbauen). Zur Vermeidung von teurer Kapitalbindung und aufgrund meist kurzer Durchlaufzeiten werden Puffer, zumindest bei den befragten Unternehmen, vermieden.
- „Guttragende/flussangepasste Schiffe“ sind bei niedrigen Wasserständen mehr beladbar, sind flacher als bisherige Schiffe, wobei die Transportkosten je Tonnenkilometer vergleichbar sind (man kann mehr Laden, allerdings höhere Betriebskosten).

3.5.3 Verloader

Allgemeine Angaben

Die befragten verladenden Unternehmen sind sehr breitgefächert in folgenden **Logistiksegmenten** tätig: Massengut, Ladungsverkehr Komplettladungen, Teilladungsverkehr, Stückgut, Projektladungsverkehr, KEP (Kurier-Express-Paketdienste), Kontraktlogistik, Terminallogistik, Warehousing, Seelogistik (Küste, Short Sea), Luftfracht, Postservice.

Die **Produktpalette** der Unternehmen umfasst Konsumgüter, chemische Güter (Gefahrgut, temperaturabhängige Güter). Die befragten Unternehmen setzen grundsätzlich alle **Transportmittel** ein, nämlich LKW/Straße, Bahn, Schiff (Seeschiff und Binnenschiff) und Luft. Als **Kommunikationstechnik** werden im Transport meist Email, Telefon und Handy eingesetzt. Zur Sendungsverfolgung werden IT-Systeme mit einer Schnittstelle zum Transportdienstleister verwendet (z.B. SAP), aber auch Austausch von Exceltabellen. Die Sendungen werden verfolgt, da sich die Bezahlung der Spediteure nach dem Erfüllungsgrad der Dienstleister richtet.

Definition von Zuverlässigkeit

Aus Sicht von Verladern spielt wie bei den Spediteuren/Logistikdienstleistern auch die **Kundenorientierung** eine Rolle: Ein Transport ist dann zuverlässig, wenn die Ware zum vereinbarten Tag dort eintrifft, wo sie anvisiert worden ist. Zwei Aspekte sind dabei von Belang a) Distribution der Ware an den Kunden (schadensfreie, pünktliche Ablieferung beim Endkunden zum Kundenwunschtermin) und b) Beschaffung von Waren für eigene Produktion (pünktliche Abholung an Produktionsstätte oder Lager).

Die häufigsten **Gründe** für Unzuverlässigkeiten sind Störungen in der **Infrastruktur**, nämlich Hoch- und Niedrigwasser, Schleusen, Buhnen, Unfälle.

Schwachstellen in der logistischen Kette bzgl. Unzuverlässigkeit: Die **Umschlagpunkte (Terminals) bilden den Engpass**; die meisten Verzögerungen treten an den Schnittstellen beim Be- und Entladen auf; hier muss man konstatieren, dass die Verspätungen in den Terminals **sichtbar** werden, allerdings im Vor- bzw. Nachlauf entstehen (nämlich z.B. durch die Schwankungen der Wasserstände und damit verbundene geringere Planbarkeit der Transporte). Direkt am Terminal verursachte Verspätungen haben zumeist informationstechnische Ursachen (Problem der Informationsbereitstellung und -übermittlung zwischen den Kommunikationssystemen der verschiedenen Akteure, wie z.B. Seehafen, Binnenhafen, Reederei, Bahnoperator etc.) und können demnach weniger durch Infrastrukturmaßnahmen am Terminal behoben werden. Die Verzögerungen an den Schnittstellen liegen auch an der **Praxis des Taktens der logistischen Vorgänge** (das entscheidende Instrument ist die **Taktung der Transportnetze**, durch die insbesondere auch partnerübergreifende Prozesse aufeinander abgestimmt werden.) Dadurch begibt man sich in die Verpflichtung das Transportmittel zu einem bestimmten Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Ein Zeitfenster muss gebucht werden; die Ladestellen müssen entsprechend organisiert werden. Probleme entstehen, wenn man Zeitfenster verpasst/zu spät kommt.

Eventuelle **Sanktionen** (z.B. Straf gelder bei Verspätungen) sind vertraglich vereinbart. Normalerweise haftet der Lieferant (Verlader, also derjenige, der die Ware auf den Weg schickt), nicht der Dienstleister/Frachtführer.

Durch die länger dauernden (insbesondere Übersee) Transporte (slow steaming) kommt es zu einer **höheren Kapitalbindung**. Diese Kosten wurden bisher noch nicht kalkuliert (Kosten sind abhängig vom Warenwert und Zinssätzen etc.). Die zusätzlichen Kosten trägt der Ver lader in vollem Umfang, sie werden nicht an den Kunden weitergereicht.

3.5.4 Binnenhäfen

Die Rolle der Binnenhäfen im gesamtlogistischen Ablauf

Die Binnenhäfen stellen im gesamtlogistischen Ablauf physische und zeitliche Puffer als Ausgleich für Verspätungen bereit („Betriebsmodell des Pufferns“). Die größte Unsicherheit in der Transportkette bilden die Seehäfen, welche nicht taggenau prognostizieren können, wann beispielsweise ein Container ankommt (z.B. die Unsicherheit tritt bei der Abfertigung im Seehafenterminal in Rotterdam auf und nicht auf der Strecke Rotterdam-Ruhrgebiet). Mehr als

die Hälfte des wasserseitigen Transports in Deutschland ist seehafengeneriert. In diesem Fall stellen die Binnenhäfen Pufferflächen zur Verfügung, um Unzuverlässigkeiten im Vor- und Nachlauf abzufangen. Neben dem Seeverkehr, tragen auch unregelmäßige Wasserstände zu Unsicherheiten bei der Binnenschifffahrt bei.

Demnach entsteht die größte Unsicherheit im Vor- und Nachlauf der Binnenhäfen, nämlich physisch (verspätete Lieferungen) und informationstechnisch (Problem der Informationsbereitstellung und -übermittlung zwischen den beteiligten Akteuren). Die wichtigsten logistischen Aktivitäten der Binnenhäfen umfassen den Warenumsatz, Flächenmanagement (d.h. das Bereitstellen von Flächen als Zwischenlager und Puffer) sowie das Organisieren von Logistik (d.h. Binnenhäfen agieren als Spediteure). Der Umsatz im Hafen stellt hinsichtlich der Zuverlässigkeit kein Problem dar.

Transportabwicklung

Die Häufigkeit, mit der mit unsicheren (länger oder auch kürzer als erwartet) Transportzeiten gerechnet werden muss, ist generell operateurspezifisch, routenspezifisch sowie saisonabhängig. Im Beispiel des befragten Binnenhafens tritt dieser Fall ca. 2 Mal im Monat ein. Die häufigste Ursache für Verspätungen (aus der Sicht des befragten Binnenhafens) sind Niedrigwasser, Hochwasser sowie Sperrungen von Schleusen und Hebelwerken (welche allerdings zumeist vorher angekündigt werden). Die Schwachstellen im logistischen Ablauf sind demnach aus der Sicht der Binnenhäfen die Wasserstraßen, wohingegen die Terminals kein Problem darstellen.

Allgemein geht man mit Verspätungen so um, dass kurzfristig (um-) disponiert wird bzw. gewartet wird, besonders bei relativ häufigen kurzen Unterbrechungen, z.B. Staus an Schleuse, schlechtes Wetter. Die maximale Wartezeit bei derartigen relativ häufigen und vorhersehbaren Vorfällen beträgt 1 Tag; dann wird umgeplant, z.B. Kontaktaufnahme mit dem Lieferanten, der aus dem Pufferlager die Ladung per LKW zum Kunden schickt.

Auf Schwankungen des Wasserpegelstands ist man in den Binnenhäfen technisch eingestellt, z.B. Be- und Entladen an der Kaikante. Veränderungen in der Abladetiefe machen sich zwar nicht in den Umschlagspreisen, jedoch in den Umschlagsmengen bemerkbar.

Definition von Zuverlässigkeit

Aus Sicht der Binnenhäfen bedeutet Zuverlässigkeit, wenn die Ladung zu 100% zur geplanten Zeit beim Binnenhafen ankommt. Dann kann der Binnenhafen den Vor- und Nachlauf beim Endkunden garantieren. Ein Problem sind dabei die schwer einzuschätzenden Wasserstandsschwankungen, wodurch man nur 1-2 Tage im Voraus planen kann.

3.5.5 Schlussfolgerungen zur Zuverlässigkeit in der Binnenschifffahrt

Zusammengefasst ist die Dauer des Transports bei der Binnenschifffahrt weniger ausschlaggebend als die Lieferung im (mit dem Kunden) vereinbarten Zeitraum.

Schwerpunktmäßig treten in der Binnenschifffahrt die Probleme bzgl. Unzuverlässigkeit auf der Wasserstraße auf (Niedrig-/Hochwasser, Schleusen, Hebewerke); Terminals sind nicht die Ursache von Verspätungen. Die größte Unsicherheit in der Binnenschifffahrt besteht beim Vor- und Nachlauf der Häfen, wobei die Hauptverspätungen in den Seehäfen entstehen, die allerdings nicht durch Infrastrukturprojekte beeinflusst werden können. Der häufigste Grund für Verspätungen auf den Binnenwasserstraßen ist Niedrigwasser, gefolgt von Hochwasser und Sperrung von Schleusen sowie Schiffshebewerken. Durch Niedrigwasser wird die Transportkapazität des einzelnen Schiffes eingeschränkt, so dass die gleiche Ladungsmenge auf mehrere Fahrzeuge verteilt werden muss. „Verspätungen“ treten durch erforderliche „Leichterungen“ auf, oder durch das Warten auf steigende Wasserstände. Geringere Geschwindigkeiten bei weniger Flottwasser fallen weniger ins Gewicht. Hinsichtlich der Terminals ist zu sagen, dass die dort auftretenden Verspätungen meistens im Vor- oder Nachlauf verursacht werden, allerdings erst beim Umschlag, nämlich bei einer Nichteinhaltung der vorgegebenen Zeitfenster, sichtbar werden. Der Umschlag bzw. Wechsel des Verkehrsträgers verkompliziert zwar den Transport, erfordert Geld und Know-how und bedeutet zumeist auch einen Operatorswechsel. Dies stellt allerdings eher eine Herausforderung an die Informationsbereitstellung dar, (z.B. technischer Informationsaustausch, da Operateure häufig mit unterschiedlichen Systemen arbeiten) und nicht an die Bereitstellung der Infrastruktur.

Das größte Problem im Zusammenhang mit Unzuverlässigkeit bei der Binnenschifffahrt besteht darin, dass sich die Transporte wegen der Wasserstandsschwankungen, wodurch die Abladetiefen enorm variieren, schwer kalkulieren lassen. Ein kontinuierlicher Wasserstand und eine strukturell verbesserte Fließgeschwindigkeit, die durch entsprechende Infrastrukturmaßnahmen erreicht werden könnten z.B. durch Ausbau und Erhalt der Buhnen, wären einer höheren Zuverlässigkeit und Attraktivität der Binnenstraßen förderlich.

3.6 Verkehrsmittelwahl

Die Verkehrsmittelwahl hängt (laut Verlager im Straßenverkehr und Schienenverkehr) ab von der Entfernung, dem Gewicht des Transports, dem Volumen, den Kosten, der Durchlaufzeit, der Art der Ware (z.B. Neu-Pkws können nicht mit Straßenverkehr transportiert werden), dem Ziel und der verfügbaren Transportkapazität. Stärke des Binnenschiffs ist der Preis, Schiene ist etwas teurer und der LKW ist am teuersten. Lkws sind flexibler und sie bemühen sich die Zeiten einzuhalten. Das Binnenschiff ist im Prinzip auch zuverlässig, aber witterungsanfällig, z.B. Sturm, starker Wind oder Eis (ein eingefrorener Mittellandkanal im Winter von mehreren Wochen wurde genannt), dadurch kann ein Schiff mehrere Tagen oder Wochen Verspätung haben. Bei der Schiene ist der Umschlag ein sehr unzuverlässiger Teil, weil der Transport auf der Schiene als sehr zuverlässig beurteilt wird. Es kommt vor, dass ein Umschlag bei der Bahn nicht realisiert wird, und der Kunde darüber nicht rechtzeitig informiert wird. Die relevanten Informationen werden erst später bekannt. Ein Nachteil ist die begrenzte Wahlmöglichkeit in Bezug auf Spediteure bei den Umschlagsanlagen. Grundsätzlich gilt, dass ein Zuverlässigkeitsvergleich der

Verkehrsträger aufgrund der stark unterschiedlichen Transportgeschwindigkeiten und Einsatzzwecke kaum möglich ist.

In **multimodalen Transporten** wird zum Beispiel der Zug genutzt für die langen Strecken zum Terminal und wird die letzte Meile vom Terminal zum Kunden mit Lkw-Transport gemacht. Abhängig vom Ziel kann die letzte Meile 5 km sein, aber auch 350 km.

Verkehrsmittelwahl

Folgende Kriterien spielen nach der Meinung der Verlager in der Binnenschifffahrt nach bei der Verkehrsträgerwahl eine Rolle:

- Kosten (damit verbunden die Menge; die Größe des Transportauftrags bzw. der Ladung; z.B. bei einer Ladung von 2000 Tonnen fällt der LKW als Transportmittel weg, es kommen nur noch Schiff/Bahn in Frage)
- Zeit; die Zuverlässigkeit (Pünktlichkeit) ist wichtig, nicht die Schnelligkeit; „Risk management“, d.h. mehrere Dienstleister per Relation, um Abhängigkeiten zu vermeiden (beim Verlager wie auch beim Dienstleister)
- Produktspezifische Anforderungen (z.B. Frostschutz bei frostempfindlichen Gütern) an das Verkehrsmittel.
- Die Örtlichkeiten beim Kunden spielen auch eine entscheidende Rolle (z.B. Bahnanschluss, Binnenschiff)
- Umwelt

3.7 Interviews Geschäftsverkehr

Von den 50 Beteiligten wurden zum Thema Geschäftsverkehr sechs Teilnehmer (1 Fachverband, 4 Verlager und 1 Transportunternehmen) befragt.

Die Zuverlässigkeit von Geschäftsreisen hängt davon ab, wie pünktlich das Ziel erreicht wird. Die Termine werden nach Kundenwunsch (Datum und Anfangszeit) geplant und dann wird dazu die bestimmte Reise geplant. Nach Bedarf werden die Reisen im Voraus geplant, von kurzfristig (1 Tag) zu mittelfristig (1 Woche) bis langfristig (mehrere Wochen/Monate).

In Bezug auf die Verkehrsmittel- und Routenwahl wird im Allgemeinen die am wirtschaftlich günstigste Variante gewählt. Die Reisezeit ist in dieser Wahl der wichtigste Faktor. Andere wichtige Faktoren sind Kosten, Distanz und Anzahl der Umstiege. Normalerweise ist die Verkehrsträgerwahl beim Unternehmen nicht vorgeschrieben. Die Zugänglichkeit mit einem bestimmten Verkehrsträger ist abhängig von der Relation und Entfernung. Zum Beispiel wird die folgende Einteilung durch eine der Befragten genutzt:

- Distanz weniger als 200 Kilometer: Pkw oder Bahn, wenn es günstige Verbindungen gibt.
- Zwischen 200 und 300 Kilometer: Bahn.
- Mehr als 300 Kilometer: Bahn oder Flugzeug.

Videokonferenzen oder Telefonkonferenzen werden verwendet, um Geschäftsreisen (und damit Kosten und Zeit) zu sparen; jedoch meistens für interne Besprechungen.

Bei zwei Befragten werden verpasste Termine (weniger als 10 %) aufgrund der Unzuverlässigkeit der Reise genannt. Solche verpasste Termine kommen weniger als 10 % vor. Häufig kann pünktliches Eintreffen am Zielort nur durch hohen zeitlichen Puffer erreicht werden. Ein anderer Befragter sagt, dass Unzuverlässigkeit durch verpasste Termine vermieden wird durch individuelle Reiseplanung.

Am Häufigsten wird das Internet als Informationsquelle genutzt, um sich über mögliche Verfrühungen oder Verspätungen zu informieren. Hier sind gute Informationen über Tages- und Jahreszeitenprofile von Reisezeit für den Straßenverkehr verfügbar. Andere Informationsquellen sind Verkehrswarnungen der Polizei, Portale über Baustellen und das Radio.

Im Planungsprozess von zuverlässigen Geschäftsreisen werden eigene Erfahrungen oder Erfahrungen von Kollegen genutzt. Wenn z.B. vorher eine Kollege eine Reise zum selben Kunde/Zielort hat gemacht mit guten bzw. schlechten Erfahrungen dann kann diese Information genutzt werden, um die gleiche Reise (gleiche Verkehrsträger und/oder Route) bzw. eine alternative Reise zu wählen. Bei Internet gibt es gute Informationen über Reisezeiten (Pkw und Schiene) und Baustellen. Die Reisezeiten für Pkw sind verfügbar über Tages- und Jahreszeiten und auch Ferienzeiten. Sonstige nützliche Informationsquellen sind Verkehrswarnungen der Polizei und Rundfunkmeldungen während der Reise.

Eine Befragte erwähnte auch, dass Fachberatung durch das Reisebüro beim Planen von Geschäftsreisen genutzt wird.

Bereiche des Geschäftsverkehrs, die als sehr zuverlässig genannt werden, sind Reisen im ländlichen Bereich bzw. Kleinstädten, Hotelbuchungen und Mietwagenbuchungen. Auf der anderen Seite werden Geschäftsreisen auf Autobahnen, Fahrten in Großstädten und Verkehrsträgerwechsel als unzuverlässige Bereiche genannt. Auf dem Weg zum Flughafen wird zum Beispiel regelmäßig zur Erhöhung der Sicherheit eine Bahn/S-Bahn-Linie früher genommen als notwendig. Man kann daraus Schlüsse ziehen, dass Menschen beim Fliegen zeitsensibler sind als bei Bahn und Pkw, weil die Auswirkungen weitreichender sind, wenn ein Flug verpasst wird. Je niedriger die Frequenz ist, desto mehr Puffer wird eingeplant.

Zusammenfassung Geschäftsverkehr

Zuverlässigkeit bei Geschäftsreisen wird dadurch definiert, wie pünktlich in angemessener Reisezeit das Ziel erreicht wird. Als Verkehrsmittel wird im Allgemeinen das wirtschaftlich günstigste gewählt. Reisezeit ist bei dieser Entscheidung der wichtigste Faktor.

Bereiche des Geschäftsverkehrs, die als sehr zuverlässig genannt werden, sind Reisen im ländlichen Bereich bzw. Kleinstädten, Hotelbuchungen und Mietwagenbuchungen. Auf der anderen Seite werden Geschäftsreisen auf Autobahnen, Fahrten in Großstädten und Verkehrsträgerwechsel als unzuverlässige Bereiche genannt.

4. NKA im Rahmen der BVWP in Deutschland

4.1. Hintergrund

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung verlangt, dass bei der Finanzierung für neue Infrastrukturen und bei einer größeren Aktualisierung eine Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) ausgeführt wird. Im Bundesverkehrswegeplan 2003 und dem zugehörigen Methodikheft („Die gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik“ 2005) werden die für Bundesinfrastruktur anzuwendenden Bewertungsverfahren beschrieben. Im ersten Sachstandsbericht werden kurz die Grundzüge des Verfahrens beschrieben. Weiterhin werden die Möglichkeiten zur Integration des Faktors Zuverlässigkeit in die deutschen Bewertungsverfahren diskutiert. Veränderungen in der Zuverlässigkeit von Reisezeiten werden in der Standardbewertung von Infrastrukturprojekten in Deutschland bisher nicht berücksichtigt; ebenso wie in den meisten anderen Ländern (siehe auch 1.1). Heutzutage integrieren die Niederlande, sowie Schweden (provisorische) Zuverlässigkeitseffekte in einige Nutzen-Kosten-Analysen. Verschiedene Länder untersuchen gegenwärtig die Möglichkeiten, um offizielle nationale Werte von Zuverlässigkeit für den Gebrauch in Nutzen-Kosten-Analysen aufzustellen.

4.2. Was ist eine Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)?

Die Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) ist Kern der gesamtwirtschaftlichen Bewertungen für alle erwogenen Investitionsvorhaben in der Infrastruktur. Bei der NKA handelt es sich um ein Bewertungsverfahren, bei dem die Investitionen den daraus resultierenden Wirkungen gegenübergestellt werden. Hierbei werden die Wirkungen monetarisiert und als Nutzen dargestellt (bzw. als negativer Nutzen bei Kostenerhöhungen, das heißt negative Wirkungen). Das standardisierte verkehrsträgerübergreifende und einheitliche Verfahren erfasst hierbei alle Wirkungsbereiche, die einen nennenswerten Einfluss auf das Bewertungsergebnis haben können. Die Nutzenkomponenten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Senkung der Beförderungskosten,
- Erhaltung der Verkehrswege,
- Erhöhung der Verkehrssicherheit,
- Verbesserung der Erreichbarkeit,
- Positive räumliche Wirkungen,

- Entlastung der Umwelt,
- Berücksichtigung des induzierten Verkehrs,
- Verbesserung der Anbindung von See- und Flughäfen.

Diesen Nutzenkomponenten werden die Investitionskosten gegenübergestellt. Die Ergebnisdarstellung erfolgt als Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV). Wenn das NKV größer als 1 ist, liegt ein Hinweis für die Wirtschaftlichkeit des erwogenen Vorhabens aus volkswirtschaftlicher Sicht vor. Die Höhe des NKV wird als wesentliches Entscheidungskriterium für die Einordnung der bewerteten Projekte in die Dringlichkeitsstufen herangezogen.

4.3. Gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik des BVWP 2003

Der Bericht “Gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik” (BMVBS 2005) stellt die Verfahrensbeschreibung für die Nutzen-Kosten-Analyse im Bundesverkehrswegeplan 2003 dar. Der Bundesverkehrswegeplan und die Methodik unterscheidet drei Infrastrukturprojektarten: Straße, Schiene und Wasserstraße (Tabelle 6).

Tabelle 6: Projekttypen

Straße	Schiene	Wasserstraße
Neubau und Ausbau von BAB	Neubaustrecke	Freie Strecke
Neubau und Ausbau von Bundesstraßen (inkl. Ortsumgehungen)	Ausbaustrecke	Schleusen
	Rangierbahnhöfe	

BAB: Bundesautobahn

Die wichtigsten Aspekte der Gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik im Bezug auf die Definition von Zuverlässigkeit sind:

- Das Konzept Zuverlässigkeit wird nirgendwo in dem Dokument explizit genannt;
- In der Bundesverkehrswegeplanung werden Zeitersparnisse aufgrund von Infrastrukturmaßnahmen für den gewerblichen Verkehr (Zeitersparnisse im LKW Verkehr und im Geschäfts- und Dienstreiseverkehr) in der Nutzenkomponente NB2 (Verbilligung von Beförderungsvorgängen; Veränderung der Betriebsführungskosten) erfasst. Zeitersparnisse im nicht-gewerblichen Verkehr (Fahrtzwecke Berufs-, Ausbildungs-, Besorgungs- und Freizeitverkehr) werden hingegen ausschließlich in der Nutzenkomponente NE (Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen) berücksichtigt.
- Für Straße werden getrennte Zeit- und Betriebskosten verwendet und diese sind differenziert nach Fahrzeugart. Fahrzeugarten sind: PKW (Ottomotor), Pkw

- (Dieselmotor), Leichter LKW (<3.5t), LKW ohne Anhänger (> 3.5t), LKW mit Anhänger, Sattelschlepper, Reisebus und Linienbus. Die Kosten werden differenziert für drei Straßenkategorien: Autobahnen, außerorts und innerorts.
- Für die Wasserstraße wird auch eine Differenzierung nach Fahrzeugtyp verwendet: Einzelfahrer, Schubmotorschiffe, Schubleichter und eine Differenzierung nach Kapazität (total ca. 20 Kategorien). Für die NKA sind die Betriebskosten leitend.
 - Beim Verkehrsträger Schiene werden unter der Nutzenkomponente NE die Zeitersparnisse der Reisenden im gewerblichen und nicht-gewerblichen Verkehr erfasst. Im Schienenverkehr werden auch Verlagerungseffekte vom Autoverkehr mit einbezogen. Diese Effekte sind begrenzt auf die Kostenreduktionen der Betriebskosten (Fahrer, die früher Pkw benutzen sparen jetzt die Pkw-Betriebskosten und haben dafür Ausgaben für die Schiene). Es wird aber nicht betrachtet, ob beispielsweise eine Entlastung und damit ein besserer Verkehrsfluss auf der Straße erreicht wird. In andere Länder wird der Effekt auf den Verkehrsfluss, einschließlich der Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit, mit einbezogen.

4.4 Methodische Grundsätze NKA in Deutschland

Die Methodikbeschreibung in diesem Abschnitt beruht weitgehend auf BMVBS (2005).

Die Qualifizierung, Quantifizierung und Evaluierung der Projektwirkungen erfolgt durch die Gegenüberstellung eines Planfalles mit einem Bezugsfall. Der Planfall unterscheidet sich vom Bezugsfall dadurch, dass er die zu bewertenden Verkehrsweginvestitionen berücksichtigt. Erfasst werden alle Änderungen im Wirkungsbereich des Projekts.

Die Projektwirkungen werden soweit wie möglich monetär ausgedrückt. Zielgewichtungen werden in der Nutzen-Kosten-Analyse soweit wie möglich durch Wettbewerbspreise erreicht, welche die Bedürfnisse der Betroffenen unmittelbar und unverzerrt widerspiegeln.

Fehlen für einzelne Nutzenkategorien geeignete Wettbewerbspreise, so treten abgeleitete monetäre Größen an ihre Stelle. Diese repräsentieren, wie Kosten der Schadensverhütung anstelle von Entgelten für Heilungsbemühungen bzw. Erlöse aus anderweitigem Einsatz von Finanzierungsmitteln anstelle von Bauaufwand, zweckadäquate Leistungen (sogenannte Alternativkosten zur Erreichung oder Vermeidung eines bestimmten Effektes bzw. Opportunitätskosten).

Stets gilt, dass die anzuwendenden Wettbewerbspreise den Wert des Ressourcenverzehr widerspiegeln sollen. Verzerrte Preise werden daher bereinigt, indem etwa Gewinne und Marktsteuern ausgeklammert bzw. Zuschüsse hinzugefügt werden.

Verkehrliche Grundlagen

Die Quantifizierung der Wirkungen erwogener Verkehrswegeprojekte erfordert in weiten Teilen die Kenntnis der strecken- und belastungsabhängigen Verkehrssituation (Anzahl Fahrzeuge je Richtung und Zeitabschnitt, Geschwindigkeiten, Wartezeiten) in den jeweils relevanten Vergleichs- und Planfällen.

Als Basis zur Bereitstellung dieses Datengerüsts werden verkehrsträgerübergreifend koordinierte Verkehrsprognosen für das Prognosejahr erstellt. Zusammen mit dem Ausbauzustand der Verkehrsinfrastruktur im Prognosejahr bilden die räumlich differenzierten Ergebnisse dieser Prognose den Ausgangspunkt für die Simulation des Verkehrsgeschehens in den jeweiligen Vergleichs- und Planfällen.

Prognosen der Verkehrsnachfrage

Die räumliche Differenzierung der Prognose erfolgt sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr in Form von Quelle-Ziel-Verflechtungsmatrizen zwischen den Verkehrszellen.

Im Personenverkehr stellen die Verflechtungsmatrizen die Aufkommenswerte (Anzahl Beförderungsfälle) getrennt für den motorisierten Individualverkehr, den Schienenverkehr, den öffentlichen Straßenpersonenverkehr und den Luftverkehr zur Verfügung.

Die ebenfalls prognostizierten Aufkommen des nichtmotorisierten Verkehrs (Fahrrad- und Fußgängerverkehr) beschränken sich auf Binnenverkehre innerhalb der Kreisregionen.

Die Prognose des Personenverkehrs erfolgt auf allen Ebenen in der Disaggregation nach den Fahrtzwecken Berufsverkehr, Ausbildungsverkehr, Einkaufsverkehr, Geschäftsverkehr, Urlaubsverkehr und Privatverkehr.

Die Verflechtungsmatrizen des Güterverkehrs differenzieren nach den Verkehrsmitteln:

- Schienenverkehr, getrennt nach Ganzzügen und sonstigem Wagenladungsverkehr;
- Straßengüterfernverkehr, getrennt nach gewerblichen Fernverkehren und Werkfernverkehren;
- Binnenschifffahrt.

Neben der modalen Gliederung werden die Verflechtungsmatrizen sektoral nach 12 Gütergruppen differenziert. Zusätzlich werden die Mengen nach den Partiegrößen „bis 15 Tonnen“, „über 15 bis 25 Tonnen“ und „über 25 Tonnen“ unterschieden. Die Prognosen der Verkehrsnachfrage stützen sich auf die voraussichtliche Entwicklung demographischer und ökonomischer Aggregate. Die wichtigsten demographischen Leitgrößen umfassen die Zahl der Einwohner und deren Altersstruktur, die Zahl der privaten Haushalte sowie die Zahl und Struktur der Auszubildenden. Die bedeutendsten ökonomischen Leitgrößen bestehen aus dem Bruttoinlandsprodukt, der Erwerbstätigenzahl, der Bruttowertschöpfung und den Realumsätzen nach Wirtschaftssektoren sowie dem Außenhandel. Mit diesen Rahmendaten wurden dann weitere gesamtwirtschaftliche und sektorale Strukturdaten geschätzt, die für die Verkehrsnachfrage von Bedeutung sind.

Streckenspezifische Beförderungs- und Fahrzeugmengen

Die für die Bewertungsrechnungen erforderliche Umsetzung der Verkehrsnachfrageprognose in streckenspezifische Fahrzeugströme erfolgt anhand Betriebsablaufmodelle. Die hierfür als Basis benutzten Verkehrswegenetze bilden den Ausbauzustand der Verkehrsinfrastruktur im Prognosejahr ab. Dabei werden diejenigen Neu- und Ausbaumaßnahmen als realisiert unterstellt, die aus heutiger Sicht nicht mehr zur Disposition stehen.

Die Berechnung der jeweils strecken- und belastungsabhängigen Verkehrssituation (Anzahl Fahrzeuge je Richtung und Zeitabschnitt, Geschwindigkeiten, Wartezeiten) erfolgt anhand verkehrsträgerspezifischer Umlegungsmodelle in einem iterativen Verfahren.

Die Simulationsrechnungen umfassen die folgenden Arbeitsschritte:

- Vorausschätzung der Fahrzeugstrukturen und -auslastungen sowie der Anteile unbeladener Fahrzeuge,
- Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Netzelemente oder Knoten,
- Vorausschätzung der Strecken- und Knotenbelastungen,
- Ermittlung des Verkehrsablaufs bei Kapazitätsrestriktionen,
- Bestimmung der Verkehrsbelastung der relevanten Netzabschnitte in Beförderungs- (Personen, Gütertonnen) und Fahrzeugmengen.

Wirkungsbereiche

Durch Verkehrswegeprojekte verändern sich für den Verkehrsablauf maßgebende Merkmale. In Abhängigkeit vom Ausmaß dieser Veränderungen sowie von der räumlichen Lage der Baumaßnahme im VerkehrswegeNetz verändern sich hierdurch in aller Regel nicht nur die Streckenbelastungen auf den direkt von den Neu- bzw. Ausbaumaßnahmen betroffenen Streckenabschnitten, sondern darüber hinaus auch in mehr oder weniger ausgedehnten Teilen des übrigen VerkehrswegeNetzes. Die räumliche Ausdehnung des Wirkungsbereiches eines Projekts kann durch Vergleich der Streckenbelastungen eines Netzes, in dem das Projekt enthalten ist (Planfall), mit denen eines Netzes in dem dieses Projekt nicht enthalten ist (Bezugsfall), abgeschätzt werden.

Bewertungskomponenten NKA

Die folgenden Bewertungskomponenten werden benutzt in die Nutzen-Kosten-Analysen:

- Verbilligung von Beförderungsvorgängen (NB)
 - NB1 Senkung von Kosten der Fahrzeugvorhaltung
 - NB2 Senkung von Kosten des Fahrzeugbetriebs
 - NB3 Transportkostenänderungen durch Aufkommensverlagerungen
- Erhaltung der Verkehrswege (NW)
 - NW1 Erneuerung der Verkehrswege
 - NW2 Instandhaltung der Verkehrswege
- Erhöhung der Verkehrssicherheit (NS)
- Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen (NE)
- Räumliche Vorteile (NR)
 - NR1 Beschäftigungseffekte aus dem Bau von Verkehrswegen
 - NR2 Beschäftigungseffekte aus dem Betrieb von Verkehrswegen
 - NR3 Beiträge zur Förderung internationaler Beziehungen
- Entlastung der Umwelt (NU)
 - NU1 Verminderung von Geräuschbelastungen
 - NU2 Verminderung von Abgasbelastungen
 - NU3 Verminderung innerörtlicher Trennwirkungen
- Wirkungen des induzierten Verkehrs (NI)
- Verbesserte Anbindung von See- und Flughäfen (NH)
- Erfüllung verkehrsfremder Funktionen (NF)

- Investitionskosten (K)

Zeitliche Vereinheitlichung der Projektwirkungen

Die monetäre Bewertung von Projekten erfolgt anhand dynamischer Verfahren der Investitionsrechnung. Wesentliches Merkmal dieser Verfahren ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Nutzen- und Kostenströme mit Hilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt ab- oder aufzudiskontieren. Somit haben Nutzen und Kosten nicht nur über ihren Betrag, sondern auch über den Zeitpunkt ihres Anfalls einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis.

Zur Vereinheitlichung der zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftretenden Wirkungen werden für das Bewertungsverfahren zum BVWP für alle Verkehrsträger einheitlich die folgenden Festlegungen getroffen:

Bezugszeitpunkt

Die Berechnung vergleichbarer Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit erwogener Verkehrswegeinvestitionen erfordert die Festlegung eines einheitlichen Bezugszeitpunktes für die Aktualisierung der Nutzen- und Kostenströme.

Preisstand

Damit die Nutzen und Kosten der unterschiedlichen Projekte miteinander vergleichbar sind, muss ihnen ein einheitlicher Preisstand zugrunde liegen. Die Schätzung der Investitionskosten könnte in der Regel auf der Grundlage des aktuellen Preisstandes erfolgen. Für die Vielzahl der Nutzenkomponenten lassen sich hingegen aufgrund des damit verbundenen Aufwands und der Verfügbarkeit von statistischen Daten Wertansätze nur in zeitlich größeren Abständen neu berechnen. Die Berechnungen erfolgen in konstanten Preisen, d. h. zukünftige Preissteigerungen bleiben sowohl bei den Investitionskosten als auch bei den Nutzenkomponenten unberücksichtigt.

Aktualisierungsrate

Die Bundesverkehrswegeplanung bewertet Projektwirkungen in konstanten Preisen. Entsprechend darf auch der zur Aktualisierung der Nutzen- und Kostenströme verwandte Zinssatz keine Inflationserwartungen enthalten.

Prognosehorizont

Der Prognosehorizont für die zugrunde gelegten Strukturdaten (z. B. Bevölkerung, Beschäftigte etc.) sowie die Verkehrsmengen aller Verkehrsträger ist einheitlich ein Prognosejahr, z.B. 10 oder 15 Jahre in der Zeit weiter. Ab diesem Prognosejahr werden bis zum Ende des jeweiligen Betrachtungszeitraums keine weiteren Steigerungen der Verkehrsmengen angesetzt.

Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum der Nutzen-Kosten-Analyse legt den Zeitraum fest, in dem die Wirkungen der jeweiligen Projekte ab dem Jahr der Inbetriebnahme erfasst werden. Der Betrachtungszeitraum zählt somit zu den Bestimmungsgrößen der Bruttonutzen von Investitionsprojekten.

Wird, wie beim Verkehrsträger Schiene, der Betrachtungszeitraum unabhängig von den Nutzungsdauern der Anlagenteile der jeweiligen Investitionsprojekte einheitlich vorgegeben, so erfordert dies die gesonderte Berücksichtigung von Re-Investitionen bei Anlagenteilen mit kürzeren Nutzungsdauern sowie von Restwerten der am Ende der vorgegebenen Nutzungsdauer noch nicht vollständig „verbrauchten“ Anlagenteile.

Wird der Betrachtungszeitraum hingegen jeweils projektspezifisch aus dem gewogenen Durchschnitt der Nutzungsdauern der einzelnen Projektbestandteile ermittelt, so erübrigt sich der gesonderte Ansatz von Re-Investitionen sowie von Restwerten am Ende des Betrachtungszeitraums.

Die Berechnung der jeweils projektspezifisch mittleren Nutzungszeit erfolgt anhand des globalen Annuitätenfaktors des Projekts in Verbindung mit der Aktualisierungsrate:

$$n = \frac{\ln \frac{a_n}{a_n - p}}{\ln(1 + p)}$$

Es bedeuten:

- n mittlere Nutzungszeit des Projekts (Betrachtungszeitraum NKA)
- a_n globaler Annuitätenfaktor des Projekts
- p Aktualisierungsrate

Der globale Annuitätenfaktor eines Projekts ergibt sich als gewogenes Mittel der Einzelannuitäten der jeweils relevanten Anlagenteile der Investitionsmaßnahme:

$$a_n = \frac{\sum K_g \times a_g}{K}$$

Es bedeuten:

- a_n globaler Annuitätenfaktor des Projekts
- K_g Kosten der Anlagenteile n (Preisstand Jahr XXXX)
- a_g Annuitätenfaktor der Anlagenteile
- K Gesamte Investitionskosten (Preisstand Jahr XXXX)

Die Annuitätenfaktoren ermitteln sich hierbei zu:

$$a_g = \frac{p \times (1 + p)^t}{(1 + p)^t - 1}$$

Es bedeuten:

- a_g Annuitätenfaktoren der Anlagenteile
- p Aktualisierungsrate
- t Nutzungsdauer der Anlagenteile

Beurteilungskriterium

Als Beurteilungsgröße für die gesamtwirtschaftliche Effizienz der erwogenen Investitionsvorhaben wird zu bisherigen Bundesverkehrswegeplänen das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) verwendet. Hierbei gilt die grundsätzliche Regel, dass der Barwert aller Nutzenkomponenten den Zähler, und der Barwert der Investitionskosten den Nenner des Quotienten bildet. Nutzelemente mit projektbedingten Kostenerhöhungen werden somit mit negativem Vorzeichen im Zähler erfasst.

Diese methodische Vorgabe gewährleistet die Gleichbehandlung aller Nutzelemente. So werden negative Effekte (z. B. Kostenerhöhungen bei den Instandhaltungskosten der Wege) durch monetär gleich große positive Effekte (etwa verbesserte Verkehrssicherheit) kompensiert. Eine Zuordnung von Nutzenkomponenten mit negativem Vorzeichen zum Nenner des Quotienten würde hingegen „zufällig“ immer diejenigen Effekte höher gewichten, bei denen es projektbedingt zu Kostenerhöhungen kommt.

$$NKV = \frac{N_b}{K_b}$$

Es bedeuten:

NKV Nutzen-Kosten-Verhältnis

N_b Summe der Barwerte der Nutzelemente für das Bezugsjahr

K_b Summe der Barwerte der Investitionskosten für das Bezugsjahr

Zur Ermittlung der Nutzenbarwerte sind die Nutzenteilbeträge für jedes Jahr des Betrachtungszeitraumes gemäß ihrem zeitlichen Anfall auf das gemeinsame Bezugsjahr zu diskontieren:

$$N_{b,i} = f \times N_i, \text{ wobei}$$

$$f = (1 + p)^{t_b - t_{a,i}}$$

Es bedeuten:

$N_{b,i}$ Barwert des Nutzenteilbetrags i bezogen auf das Bezugsjahr

f Aktualisierungsfaktor

N_i Zeitwert des Nutzenteilbetrags i

p Aktualisierungsrate

t_b Bezugsjahr

$t_{a,i}$ Jahr, in dem der betreffende Nutzenteilbetrag anfällt

Ergibt sich für einzelne Nutzenkategorien ein über den gesamten Betrachtungszeitraum konstanter Nutzenstrom, so vereinfacht sich die Berechnung der Barwerte zu:

$N_{b,j} = f \times B \times N_j$, wobei

$$B = \frac{1 - (1 + p)^{-t}}{p} \text{ und}$$

$$f = (1 + p)^{t_b - t_i}$$

Es bedeuten:

- $N_{b,j}$ Barwert der Nutzenkategorie j bezogen auf das Bezugsjahr
- f Aktualisierungsfaktor zur Berücksichtigung der Zeitdifferenz zwischen dem Jahr der Inbetriebnahme und dem Bezugsjahr
- B Barwertfaktor
- N_j Zeitwert des Jahresnutzens der Kategorie j
- T Zeitdauer des konstanten Nutzenanfalls
- t_b Bezugsjahr
- t_i Jahr der Inbetriebnahme

Die Diskontierung der Kostenteilbeträge der Investitionskosten K erfolgt ebenfalls mit Hilfe von Aktualisierungsfaktoren:

$K_{b,i} = f \times K_i$, wobei

$$f = (1 + p)^{t_b - t_{a,i}}$$

Es bedeuten:

- $K_{b,i}$ Barwert des Kostenteilbetrags i bezogen auf das Jahr 2000
- f Aktualisierungsfaktor
- K_i Zeitwert des Kostenteilbetrags i
- p Aktualisierungsrate
- t_b Bezugsjahr
- $t_{a,i}$ Jahr, in dem der betreffende Kostenteilbetrag anfällt

Liegen Informationen über die zeitliche Verteilung der Investitionskosten nicht vor, so wird davon ausgegangen, dass sie sich gleichmäßig auf die Bauzeit verteilen. Die Berechnung des Kostenbarwertes vereinfacht sich in diesen Fällen zu:

$K_b = f \times B \times K_j$, wobei

$$B = \frac{1 - (1 + p)^{-t}}{p} \text{ und}$$

$$f = (1 + p)^{t_b - t_B}$$

Es bedeuten:

- K_b Kostenbarwert der Investitionskosten K
- f Aktualisierungsfaktor zur Berücksichtigung der Zeitdifferenz zwischen Baubeginn und dem Bezugsjahr
- B Barwertfaktor

K_j	Zeitwert der durchschnittlichen jährlichen Investitionskosten während der Bauzeit
t	Bauzeit in Jahren.
t_b	Bezugsjahr
t_B	Jahr des Baubeginns

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis zeigt, um wie viel die projektbedingten Ersparnisse die Investitionskosten des Projekts relativ übertreffen. Das Produkt aus dem um eins verminderten Nutzen-Kosten-Verhältnis mit den Investitionskosten spiegelt den Wert jener Produktionsfaktoren wider, die das jeweilige Verkehrswegeprojekt für anderweitige Verwendungen entbindet, so dass sich das wirtschaftliche Wachstum beschleunigt.

Ist eine mehrstufige Bewertung eines Projektes mit alternativen Ausbaustandards oder substitutiver Projektbündel erforderlich, so ist als Beurteilungskriterium das Differenz-Nutzen-Kosten-Verhältnis maßgebend. Ausgehend vom Ausbaustandard mit dem niedrigsten Kostenbarwert (Einzelprojekt) bzw. dem Projekt mit dem höchsten Nutzen-Kosten-Verhältnis (substitutive Projektbündel) wird hierbei geprüft welchen zusätzlichen Nutzen der verbesserte Ausbauzustand bzw. das zusätzliche Projekt erbringt und welche zusätzlichen Kosten dadurch entstehen. Hierzu wird der Quotient aus den summierten Barwerten der Zusatznutzen und Zusatzkosten gebildet.

$$\frac{\Delta N}{\Delta K} = \frac{N_{b,1+2} - N_{b,1}}{K_{b,1+2} - K_{b,1}}$$

Es bedeuten:

$\frac{\Delta N}{\Delta K}$	Differenz-Nutzen-Kosten-Verhältnis
N_b	Barwertsumme der Nutzen
K_b	Barwertsumme der Investitionskosten

In der Bundesverkehrswegeplanung werden Zeitersparnisse aufgrund von Infrastrukturmaßnahmen für den gewerblichen Verkehr (Zeitersparnisse des Fahr- und Begleitpersonals von Bussen und Nutzfahrzeugen) in der Nutzenkomponente NB2 (Verbilligung von Beförderungsvorgängen) erfasst. Die Zeitkostensätze für den gewerblichen Verkehr basieren auf der Annahme, dass die eingesparte Fahrzeit produktiv verwendet wird, wobei die durchschnittliche Produktivität und das durchschnittliche Brutto-Einkommen der Erwerbstätigen zugrunde gelegt werden. Die in der letzten BVWP verwendeten Zeitkostensätze im gewerblichen Verkehr beliefen sich auf 27,92 Euro/h für Pkw, 21,47 Euro/h für Busse (Reise- und Linienbusse) sowie zwischen 21,47 und 25,34 Euro/h für die Nutzfahrzeuge des Güterverkehrs ab 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht (Preisstand 1998). Für den Schienenverkehr wurden bislang Bewertungsansätze von 19,94 Euro/h (Preisstand 1998) und 25,30 Euro/h (Preisstand 2008) für den Geschäftsverkehr verwendet.

Zeitersparnisse im nicht-gewerblichen Verkehr (Fahrtzwecke Berufs, Ausbildungs-, Besorgungs- und Freizeitverkehr) werden hingegen ausschließlich in der Nutzenkomponente NE (Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen) berücksichtigt. Die Zeitkostensätze wurden im

Rahmen einer Studie von 1992 (Willeke und Paulußen, 1991) aus einer holländischen SP-Studie der Hague Consulting Group (1990) abgeleitet und auf Deutschland übertragen. Die auf diese Weise abgeleiteten Kostensätze wurden um eine Wahrnehmungsschwelle reduziert, die auf der Annahme beruht, dass Zeitersparnisse im nichtgewerblichen Personenverkehr unterhalb einer bestimmten Schwelle nicht wahrgenommen werden. Aus Testrechnungen an bereits bewerteten Straßenprojekten wurde ermittelt, dass diese Schwelle bei 30% liegt und sich umgekehrt proportional zur Reiseweite verhält. Aufgrund des Verkehrsmixes aus Nah- und Fernverkehr wurde jedoch der Einfluss der Reiseweite auf die Wahrnehmungsschwelle nicht berücksichtigt. Die derzeit in der BVWP verwendeten Zeitkostensätze wurden seitdem anhand der Einkommensentwicklung in Deutschland fortgeschrieben und belaufen sich auf 3,83 € (5,47 € je h vermindert um die Wahrnehmungsschwelle, Preisstand 1998). Für den Schienenverkehr belaufen sich die Bewertungsansätze auf 5,47 Euro/h (Preisstand 1998) und 6,30 Euro/h (Preisstand 2008).

5. Literatur zur Bewertung von Zuverlässigkeit

Die Literaturrecherche umfasst Journal Papers (Englisch, Deutsch, Französisch, Niederländisch), Konferenz-Papers, Veröffentlichungen von nationalen Regierungen, Berichte von internationalen Organisationen (z.B. OECD/ITF, 2010), Consulting-Berichte und offizielle Websites von Regierungen (wie z.B. WebTAG in GB). Neben der Analyse der veröffentlichten und der grauen Literatur haben wir auch eine Reihe von Experten auf dem Gebiet von Zuverlässigkeit sowohl in Deutschland als auch im Ausland kontaktiert und gefragt ob sie weitere Quellen zu der Thematik kennen. Diese Quellen haben wir in dieser Literaturanalyse mit einbezogen.

5.1 Methoden zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Personenverkehr

Tabelle 7. Darstellung der in der Literatur zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Personenverkehr verwendeten Methoden

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Accent/HCG (1995)	SP	Straße	UK	4300	Verspätung von 5 Min oder mehr	Verspätung von 5 Min oder mehr	Reisezeit, Reisekosten, Information
Bates et al. (2001)	SP	Bahn	UK	200	10 Reisezeiten pro Alternative (clockface Präsentation) und planmäßige Abfahrts- und Ankunftszeit	Scheduling-Modell mit Schedule-Delay-Terms aber auch mit durchschnittlicher Verspätung	Durchschnittliche Verspätung Reisekosten

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Börjesson (2008)	SP+ RP	Straße	Schweden	1000 Pendler	Abfahrtszeit, Ankunftszeit, Streubreite Reisezeitverteilung	Scheduling- Modell aber mit Standard- abweichung	Reisezeit Reisekosten
Börjesson et al. (2011a)	SP	Metro, S-Bahn	Schweden	1260	Abfahrtszeit, Ankunftszeit,	Scheduling- Modell	Reisezeit Reisekosten
	SP	Metro, S-Bahn	Schweden	1260	Häufigkeit von Verspätungen (von x Minuten)	Mean- Dispersion Modell: Varianz	Reisezeit Reisekosten
Börjesson et al. (2011b)	SP	Straße Bahn Bus	Schweden	4500	Häufigkeit von Verspätungen (von x Minuten)	Mean- Dispersion Modell: Standard- abweichung	Reisezeit Reisekosten Information
Brownstone and Small (2005)	RP	Straße	VS	522	Reisezeitvermessungen (toll road/freeway)	Perzentile: TT90-TT50	Reisezeit Reisekosten (Maut)
	SP	Straße	VS	81	5 Reisezeiten pro Alternative (unter einander)	Perzentile: TT80-TT50	Reisezeit Reisekosten (Maut)
Carrion-Madera and Levinson (2010)	RP	Straße	VS	18 Pendler, 2 Wochen	Reisezeitvermessungen (toll road/freeway)	Mean- Dispersion Modell: Standard- abweichung; TT90-TT50; TT75-TT25	Reisezeit Reisekosten (Maut)

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Copley et al. (2002)	SP	Straße	UK	167 Pendler	Säulendiagramm der Reizeitverteilung, Abfahrtszeit und Chance um nach PAT an zu kommen	Scheduling-Modell; Scheduling-Variablen nicht signifikant	Durchschnittliche Reisezeit
	SP	Straße	UK	167 Pendler	Säulendiagramm der Reizeitverteilung, Abfahrtszeit und Chance um nach PAT an zu kommen	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung	Durchschnittliche Reisezeit
Batley et al. (2007)	RP/SP	Bahn	UK	3000	5 Reise-, Abfahrts- und Ankunftszeiten pro Alternative	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung oder durchschnittliche Verspätung	Reisezeit Reisekosten
Dargay et al. (2008); Batley et al, 2011	RP	Bahn	UK	RP: 248 QZ Relation	SP: 5 Reise-, Abfahrts- und Ankunftszeiten pro Alternative		Reisezeit Reisekosten
Eliasson (2004)	SP	Straße	Schweden	600	Wahrscheinlichkeit einer großen unerwarteten Verspätung	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung	Reisezeit Reisekosten

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Hensher et al. (2011)	SP	Straße	Australien	280	Wahrscheinlichkeit um x Minuten zu früh, rechtzeitig oder y Minuten zu spät an zu kommen	Nicht-lineäre Gewichtung von Wahrscheinlichkeiten	Reisezeit (free-flow/langsam/Stau) Reisekosten
Hess et al. (2007)	SP	Straße Bahn	UK, Niederlande	±1000 pro Studie	Abfahrtszeit und Ankunftszeit hin und zurück (tour-based)	Scheduling-Modell	Reisezeit Reisekosten (Variable Kosten, Maut) Sitzplatz Frequenz
Hjorth und Ramjerdi (2011)	SP	Straße	Norwegen	4150	5 Reisezeiten pro Alternative (unter einander)	Nicht-lineare (rank-dependent) Gewichtung von Wahrscheinlichkeiten	Reisekosten
Hollander (2005, 2006)	SP	Bus	UK	244	10 Reisezeiten pro Alternative (unter einander)	Mean-Dispersion Modell (Dispersion nicht signifikant)	Reisezeit
	SP	Bus	UK	244	5 Reisezeiten pro Alternative (unter einander)	Scheduling-Modell	Reisezeit

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
De Jong et al. (2003)	SP	Straße Bahn	Niederlande	1200	Abfahrtszeit und Ankunftszeit hin und zurück (tour-based)	Scheduling-Modell	Reisezeit Reisekosten (Variable Kosten, Maut) Sitzplatz Frequenz
König (2004)	SP	Straße ÖV	CH	Ungefähr 1000	Frequenz von rechtzeitig ankommenden Fahrten; Umfang der Verspätung	Frequenz und Umfang von Verspätung	Reisezeit
Koster et al. (2011)	SP	Alle Verkehrsmittel zum Flughafen	Niederlande	971	Abfahrtszeit Wahrscheinlichkeit, das Flugzeug zu verpassen	Scheduling-Modell mit Wahrscheinlichkeit, das Flugzeug zu verpassen	Reisezeit
Koster und Verhoef (2012)	RP/SP	Straße	Niederlande	Zeitvermessungen und 1115 SP	Abfahrtszeit, Ankunftszeit, Gewichtung der Ergebnisse	Rank- dependant Scheduling- Modell	Reisezeit
Li et al. (2010, 2011)	SP	Straße	Australien	280	Streuung der Reisezeit- verteilung	Mean- Dispersion Modell	Reisezeit (free- flow/langsam/ Stau) Reisekosten

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
	SP	Straße	Australien	280	Wahrscheinlichkeit um x Minuten zu früh, rechtzeitig oder y Minuten zu spät an zu kommen	Scheduling-Modell (nicht-linear)	Reisezeit (free-flow/langsam/Stau) Reisekosten (Variable Kosten, Maut)
Liu and Polak (2007)	SP	Bahn	UK	200	10 Reisezeiten pro Alternative (clockface Präsentation) und planmäßige Abfahrts- und Ankunftszeit	Scheduling-Modell basiert auf expected utility und Risikohaltung	Durchschnittliche Verspätung Reisekosten
MVA (2000)	SP	Bus	Frankreich	309	Standardabweichung	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung	Reisezeit (sitzend, stehend) Wartezeit
Noland et al. (1998)	SP	Straße	VS	543	5 Ankunftszeiten pro Alternative (unter einander)	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung	5 Reisezeiten pro Alternative (unter einander)
Rietveld et al. (2001)	SP	ÖV	Niederlande	781	Möglichkeit einer Verspätung	Möglichkeit einer Verspätung	Reisezeit Sitzplatz
Senna (1991)	SP	Alle	Brasilien	301	Streubreite	Mean-Dispersion Model	Durchschnittliche Reisezeit Reisekosten

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Tseng und Verhoef (2008)	SP	Straße ÖV	Niederlande	1115	Ankunftszeit Durchschnittliche Reisezeit minus free-flow Reisezeit	Scheduling-Modell auch mit Standardabweichung	Anteil free-flow Reisezeit Reisekosten (Variable Kosten, Maut)
Tseng et al. (2009)	SP	Straße ÖV	Niederlande	96 (pilots)	5 Reisezeiten pro Alternative (unter einander)	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung	Reisezeit Reisekosten

Großbritannien

Auf der Grundlage umfangreicher SP-Forschung, wurden Modelle für die Zeitkostenwerte auf britischen Straßen geschätzt (Accent und HCG, 1995), wobei einige dieser Modelle Variablen für die Zuverlässigkeit einschließen. Zum Beispiel zeigen die Ergebnisse, dass eine Verdoppelung der beobachteten Wahrscheinlichkeit einer unerwarteten Verzögerung genauso schlecht ist wie 13 Minuten zusätzliche Fahrzeit im Fall von Pendlern oder 20 Minuten zusätzliche Fahrzeit im Fall von Geschäftsreisenden. Eine Halbierung dieser Wahrscheinlichkeit ist gleichbedeutend mit einer dreiminütigen Reduzierung der Fahrzeit für Pendler, oder fünf Minuten für Geschäftsreisende. Dies unterstreicht damit wichtige Asymmetrien in der Bewertung von Zuverlässigkeit. Einige der Ergebnisse zu den Zeitkostensätzen, die auf den SP Daten aus dieser Studie basieren, werden heute noch in der Praxis in Großbritannien verwendet, nicht aber die zusätzlichen Ergebnisse zur Zuverlässigkeit.

Copley et al. (2002) führten eine SP-Befragung zur Alleinbenutzung von Autos von Pendlern in Manchester durch. Zu den Attributen, die zu jeder Alternative vorgestellt wurden, zählten verschiedene Reisezeiten (in einem Balkendiagramm) und die durchschnittliche Reisezeit. Diese Daten wurden verwendet, um diskrete Wahlmodelle zu schätzen, wobei die Informationen aus dem Balkendiagramm verwendet wurden, um eine Standardabweichung für Reisezeiten zu erhalten. Die Ergebnisse implizieren, dass eine Minute Standardabweichung der Fahrzeit dem 1,3-fachen Wert einer Minute reinen Fahrzeit entspricht, wobei sich die Autoren auf den "Zuverlässigkeitsquotienten" (Wert der Zuverlässigkeit geteilt durch den Zeitkostensatz) beziehen. Diese Studie wurde nicht durchgeführt, um Ergebnisse für die Praxis zu erhalten, sondern als Pilotprojekt, um mehr über die verschiedenen Methoden zu erfahren.

Eine beträchtliche Menge Arbeit von John Polak und Kollegen hat sich mit der Frage der Modellentwicklung auf der Basis von Daten beschäftigt, wobei den Befragten eine Reihe von möglichen Reisezeiten (oder Verzögerungen) vorgelegt wurden. Neben der Verwendung von Informationen über die durchschnittliche Reisezeit und die Standardabweichung die aus diesen Daten berechnet wird, geht man bei der Modellanalyse oft vom erwarteten Nutzen (Expected Utility Theorie, EUT) im Rahmen der Stochastischen Nutzentheorie aus. Dieser Ansatz kommt zum Beispiel bei der Arbeit von Bates et al. (2001) zur Anwendung, wobei den Befragten Alternativen mit jeweils zehn möglichen Verfrühungen oder Verspätungen vorgelegt werden. Bei der erwarteten Nutzentheorie wird diese Unsicherheit in die Nutzen-Spezifikation aufgenommen, indem eine gewichtete Summierung der verschiedenen möglichen Ergebnisse verwendet wird. Die Spezifikation der Nutzenfunktion für jedes dieser Ergebnisse wirkt sich auf die Risikobereitschaft aus, während die Definition der Wahrscheinlichkeiten, die mit den unterschiedlichen Ergebnissen assoziiert werden, Abweichungen von der erwarteten Nutzentheorie ermöglichen. Diese beiden Probleme werden bei Liu & Polak (2007) bzw. Michea & Polak (2006) behandelt. Es handelt sich dabei um rein akademische Studien, deren Ergebnisse zwar nicht direkt in der Praxis angewendet wurden, die allerdings andere Studien auf dem Gebiet beeinflusst haben.

Hollander (2005, 2006) führte eine SP-Befragung unter 244 Fahrgästen in Bussen in York (Nordengland) durch. Den Befragten wurden immer zwei Alternativen gleichzeitig vorgelegt, von denen jede in Bezug auf den Fahrpreis und mit Hilfe von zehn verschiedene Säulen beschrieben wurde (eine längere Säule stand dabei für eine längere Fahrtdauer), jeweils mit einer Abfahrts- und einer Ankunftszeit. Auf diesen Daten schätzte er beide Modelle mit einem Durchschnittswert und einer Varianz der Reisezeit in der Nutzenspezifikation und im Scheduling-Modell mit einer durchschnittlichen Verspätung und einem weiteren Ausdruck, der sich aus der Summe von durchschnittlicher Reisezeit und durchschnittlichen Verfrühung zusammensetzt. Die Schätzung des Scheduling-Modells führte zu plausiblen Ergebnissen, aber die Mittelwert-Varianz-Spezifikation war weniger erfolgreich (der Ausdruck für die Varianz war nicht signifikant).

Die Studie von Hess et al. (2007) beinhaltet Scheduling-Modelle zu Daten aus London, den West Midlands (Umgebung von Birmingham) und den Niederlanden. Letzteres Modell ist ein erneute Schätzung von De Jong et al. (2003), was im Folgenden beschrieben wird. Die beiden englischen Modelle basieren auf SP-Umfragen zur Wahl der Abfahrtszeit und Verkehrsmittelwahl ohne Berücksichtigung von unerwarteten Verzögerungen. Allerdings liefern die geschätzten Modelle Schätzungen für die Fahrplanverspätungen (zu früh und zu spät, für den Hin- und Rückweg einer Fahrt). Das Wahlmodell zur Wahl der Abfahrtszeit für die West Midlands wurde in vereinfachter Form in das Transportmodell der Region, genannt PRISM, aufgenommen (mit nur vier Zeiträumen: Stosszeiten am Morgen und Abend, zwischen den Hauptverkehrszeiten und außerhalb der Hauptverkehrszeit). Das Transport-Modell für London APRIL unterscheidet eine Tageszeitwahl mit acht Perioden des Tages. Ein ähnliches Modell zur Wahl der Abfahrtszeit wie bei De Jong et al. (2003) und Hess et al. (2007) wurde für Santiago de Chile (Arellana et al., 2012) geschätzt.

Eine Studie des ITS Leeds, finanziert durch das britische Department for Transport (siehe Dargay et al., 2008 und Batley et al., 2011), untersuchte die Auswirkungen von Pünktlichkeit (also ob ein Zug pünktlich ist) und auch, ob ein Zug überhaupt eingesetzt wird. Da man sich der Verzerrungen bewusst war, die den SP-Daten manchmal inhärent sind, legte man bei dieser

Studie mehr Wert auf das tatsächliche (d.h. das offen gelegte und dokumentierte) Verhalten. Die Analyse dieser RP-Daten wurde auf zweierlei Weise parallel durchgeführt, nämlich zum einen mit dynamischen ökonomischen Modellen, die auf RP-Daten angewendet wurden, um Anhaltspunkte zu Markt Elastizitäten zu erhalten, und zum anderen Discrete-Choice-Modelle, die eingesetzt wurden, um Erkenntnisse über monetäre Bewertungen zu erhalten.

Die ökonomische Analyse wird durch drei zentrale Datenquellen unterbaut, insbesondere Fahrkartenverkauf (aus der LENNON-Datenbank), generalisierte Fahrzeit GJT (von MOIRA), und Maße für die Zuverlässigkeit (von BUGLE), wie z.B. die Durchschnittliche Verspätung (relativ zum Fahrplan; auf Betriebsebene und QZ Ebene). Unter der Anleitung von Vertretern aus der Industrie, wurden 248 Quelle-Ziel-Ströme ausgewählt, die möglicherweise mehr Aufschluss auf Zuverlässigkeitsänderungen geben können. Genauer gesagt, waren diese Ströme nicht unwesentlichen Veränderungen in Bezug auf Pünktlichkeit und / oder Zuverlässigkeit (zumindest in Bezug auf die öffentlich gemeldeten Zahlen) in dem Zeitraum ausgesetzt, der durch LENNON, d.h. also ab 2002, abgedeckt wird. Das Team versammelte die oben genannten Daten in Bezug auf diese Stichprobe von Strömen über einen Zeitraum von 13 Monaten.

In den ökonomischen Modellen wurde die Anzahl der Fahrten je Strom, auf den Fahrpreis (Einnahmen / Fahrt), GJT und Zuverlässigkeit / Pünktlichkeit bezogen, sowie auf die Erträge an der Quelle (und Beschäftigung am Ziel für Zeitfahrausweise), Motorisierungsgrad und Benzinpreise. Spezifikationen von dynamischen Modellen wurden getestet, um Verzögerungen bei der Reaktion auf Veränderungen in der Zuverlässigkeit, sowie auf Veränderungen in anderen erklärenden Variablen zu testen. Man hat festgestellt, dass sich die Zuverlässigkeit nur marginal auf die Nachfrage bei Schiene auswirkt, was an der geringen Anzahl von Beobachtungen liegen könnte. Allerdings liefern Batley et al. (2011) als mögliche Erklärung, dass Bahnreisende eine beachtliche Abneigung gegen Verspätungen haben (wie in vielen SP Studien bestätigt), was sie jedoch nicht davon abhält, weiterhin mit dem Zug zu reisen.

Die Discrete Choice-Analyse (Batley et al., 2007) wurde von einer nationalen Personenverkehr Umfrage unterstützt. Diese Umfrage kombiniert drei Elemente, nämlich: Retrospektive Befragung RP Daten und SP-Daten. Das Team suchte Unterstützung von Vertretern der Industrie bei der Identifizierung der Umfragestandorte: gesucht wurden entweder Standorte, wo die Passagiere Erfahrung hatten mit wechselnden Maß an Zuverlässigkeit im Laufe der Zeit, oder wo die Passagiere die Wahl hatten zwischen den Diensten mit unterschiedlichen Grad an Zuverlässigkeit. In der ersten Situation wurde an Reisende gefragt, ob sie ihr Verhalten als Folge von wechselnden Maß an Zuverlässigkeit (d.h. eine retrospektive Frage) geändert haben. Im letzteren Fall wurden Reisende befragt über Präferenzen zwischen diesen verschiedenen Diensten, wobei sowohl RP- und SP verwendet wird.

In Bezug auf die SP, wurde eine Weiterentwicklung der Darstellung von Hollander (2006) verwendet, die sich als eine Vereinfachung des so genannten "Ziffernblatts" von Bates et al. (2001) interpretieren lässt. Das heißt, man konnte zwischen zwei Verbindungen A und B wählen, die beide in Bezug auf Fahrpreis, fahrplanmäßiger Fahrzeit und einer Reisezeitverteilung, die auf 5 willkürlichen Fahrten basierten, beschrieben wurden. In einer Erweiterung der Darstellung von Hollander wurden diese 5 Fahrten nicht nur als Fahrzeit präsentiert, sondern auch ihre Abfahrts- und Ankunftszeiten in Bezug auf den Fahrplan. Die Modelle, die auf den SP-Daten geschätzt wurden, führten zu plausiblen Ergebnissen, aber die discrete-choice RP Daten unterstützten keine akzeptablen Modelle.

Niederlande

Rietveld et al. (2001) fanden in einer SP-Umfrage unter Benutzern von öffentlichen Verkehrsmitteln in den Niederlanden, dass eine Halbierung der Wahrscheinlichkeit einer Verspätung von zwei Minuten mit 32 Cent bewertet wird, während der Zeitkostensatz auf 13 Cent pro Minute geschätzt wird. Demnach ist eine Minute Unsicherheit (Fahrzeit, die 1 Minute länger als erwartet dauert) äquivalent zu 2,4 Minuten Fahrzeit. Dies bedeutet, dass Reisende in öffentlichen Verkehrsmitteln risikoscheu sind, wären sie risiko-neutral, dann wäre eine Minute Unsicherheit gleichbedeutend mit einer Minute Fahrzeit.

De Jong et al. (2003) führten eine SP-Befragung zur Wahl der Abfahrtszeit (und Verkehrsmittelwahl) durch und schätzen auf diesen Daten ein Scheduling-Modell. Diese Studie berücksichtigte keine unerwarteten Verzögerungen, erzielte aber Schätzungen für den Schedule-Delay (zu früh und zu spät, für den Hin- und Rückweg einer Reise). Sie war Bestandteil einer Reihe von Untersuchungen zur Verbesserung und Aktualisierung des niederländischen Transportmodells LMS. Die neueste Version des LMS verwendet ein Modell für die Wahl zwischen neun Perioden des Tages (gleichzeitig mit Verkehrsmittel- und Zielwahlmodell), das teilweise auf diesen SP-Daten und teilweise auf dem niederländischen National Travel Survey (ähnlich Mobilität in Deutschland Kontiv-Design) basiert. Dieses Tageszeiten-Modell ist eine Vereinfachung des Modells bei de Jong et al. (2003), wobei die Vereinfachungen darin bestehen, dass vordefinierte diskrete Zeitperioden als Wahlalternativen und keine bevorzugte Ankunftszeit (PAT preferred arrival time) verwendet werden. Im Ergebnis wurde die Auswirkung von Reisezeit und -kosten auf die Wahl der Abfahrtszeit in das LMS aufgenommen, jedoch nicht die Zuverlässigkeit.

Tseng und Verhoef (2008) stellten fest, dass in einem auf SP-Daten basierten Scheduling-Modell noch Platz war für einen signifikanten Koeffizienten für die Standardabweichung der Reisezeit. Dies bedeutet, dass eine solcher Ausdruck für die Streuung nicht nur als Approximation für das Scheduling gesehen werden soll (wie von Fosgerau und Karlström 2010 diskutiert), sondern der Messung von zusätzlichen Einflüssen auf die Zuverlässigkeit dient, wie Stress und die Notwendigkeit für Reisende, ihre Planung zu aktualisieren.

In den Niederlanden steht eine große empirische Studie zur Messung des sozialen Mehrwertes von Reisezeitgewinnen und von einer Erhöhung der Reisezeitzuverlässigkeit kurz vor dem Abschluss (siehe Tseng et al., 2009). Die Studie wurde vom niederländischen Ministerium für Infrastruktur und Umwelt an ein Konsortium bestehend aus Significance, der Freien Universität Amsterdam, John Bates, TNO und NEA in Auftrag gegeben. Die resultierenden Zeitkostensätze (VOTs) und die Werte für die Zuverlässigkeit (VORs) aus der Studie werden in Nutzen-Kosten-Analysen verwendet werden. Die Studie stützt sich auf SP-Daten, wobei Unzuverlässigkeit den Befragten anhand von fünf gleichwahrscheinlichen Reisezeiten (verbal / numerische Darstellung) präsentiert wird.

Koster et al. (2011) untersuchten Einfluss von verschiedenen Faktoren (einschließlich der Zuverlässigkeit) bei der Fahrt von Reisenden zum Flughafen, die einen Flug erreichen müssen. Wie erwartet führt dies zu einer relativ hohen Bewertung der Zuverlässigkeit.

Koster und Verhoef (2012) analysierten die Wahl der Abfahrtszeit für den Straßenverkehr zur morgendlichen Hauptverkehrszeit. Sie übernahmen Verhaltens-Parameter für das Scheduling-

Modell von Tseng (2008) und setzen eine innovative rangabhängige Nutzenformulierung um. Sie fanden heraus, dass die Wahrscheinlichkeitsgewichtung den gesamten Negativnutzen von Reisen (einschließlich monetärer Kosten, Zeit und Unzuverlässigkeit) nicht wesentlich verändert.

Schweiz

In der Schweiz beinhalten SP-Befragungen, die von Kay Axhausen und Kollegen konzipiert sind, routinemäßig eine Variable, die den Anteil der Reisen mit mehr als 10 Minuten Verspätung beziffert. Dieses Maß ist nicht an die Reisedauer gekoppelt, und kann demnach bei kürzeren Strecken eine größere Rolle spielen. Ein Beispiel für eine Studie mit diesem Attribut im SP-Design ist die Studie zur Modellierung des Mobilitätsverhaltens, bei der die Akzeptanz von Mautstraßen untersucht wurde (Vrtic et al. 2006). Man kam bei dieser Studie zu dem Schluss, dass die Sensitivität der Zuverlässigkeitsvariablen beim PKW doppelt so hoch ist wie beim öffentlichen Verkehr. Darüber hinaus legen die Ergebnisse nahe, dass beim PKW ein einprozentiger Rückgang des Anteils der Fahrten mit 10 minütiger Verspätung gleichbewertet wird wie eine Verringerung der Fahrzeit um eine Minute. Dahingegen wird beim öffentlichen Verkehr eine Abnahme der Fahrzeit um eine Minute 50% höher bewertet als ein einprozentiger Rückgang des Anteils der Fahrten mit 10 minütiger Verspätung. Im Gegenzug wird eine Reduzierung des Anteils von verspäteten Fahrten um ein Prozent mit 0.5CHF für PKW-Fahrten bewertet und mit 0.2 CHF für den öffentlichen Verkehr.

Ebenfalls in der Schweiz wurde eine der umfangreichsten Studien über die Modellierung der Reisezeitvariabilität, im Zusammenhang mit der Dissertation von Arnd König, durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung dieser Arbeit findet sich in König (2004) und in König & Axhausen (2003). In dieser Arbeit wird eine Vielzahl von verschiedenen SP-Befragungen verwendet, wobei Verkehrsmittelwahl, Routenwahl und Wahl der Abfahrtszeit betrachtet werden. Bei dem Experiment zur Verkehrsmittelwahl können die Befragten zwischen drei Alternativen wählen. Dazu zählen jeweils eine Alternative für Bahn und PKW, jeweils mit hundertprozentiger Zuverlässigkeit und gleicher Reisezeit, und einer Alternative für den PKW mit deutlich reduzierter Reisezeit und gleichzeitig geringerer Reisezeitzuverlässigkeit ausgedrückt in der Pünktlichkeitsrate der Fahrten. In den ersten beiden Befragungen zur Routenwahl (sowohl PKW- als auch ÖV-Version), werden die Befragten vor die Wahl gestellt zwischen einer zuverlässigen, aber teureren Option, und einer Option, mit Unzuverlässigkeit an einer bestimmten Anzahl von Tagen pro Woche. Bei der zweiten Option werden die Befragten zusätzlich über die durchschnittliche Verzögerungszeit informiert. Bei dem letzten Experiment zur Routenwahl bekommen die Befragten ein grafisches Beispiel vorgelegt, bei dem sie zwischen zwei Routen wählen müssen, von denen eine schneller ist, die aber, an einer bestimmten Anzahl von Tagen pro Woche, gewisse Verspätungen mit sich bringt.

Die Ergebnisse dieser umfassenden Studie lassen sich schwer auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Allerdings können einige Punkte hervorgehoben werden. Unabhängig von der verwendeten Erhebung bestätigten die Auswertungen durchgehend die Bedeutung der Zuverlässigkeit beim Entscheidungsverhalten der Befragten. Entscheidend ist, dass die Analysen zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Verzögerung viel stärker negativ bewertet, als die tatsächliche Dauer der Verspätung. Die Tatsache, dass man nicht rechtzeitig ankommt, scheint also dem Reisenden noch wichtiger zu sein als die tatsächliche Dauer der Verspätung. Diese Beobachtung legt nahe, dass die Möglichkeit einer Verspätung und die Dauer bei der

Modellanalyse gesondert behandelt werden soll. Darüber hinaus empfiehlt es sich, Modelle auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeit und Dauer einer Verspätung zu spezifizieren, anstatt mit einer durchschnittlichen Fahrzeit in Verbindung mit einer Standardabweichung zu arbeiten. Diese Ergebnisse sind jedoch möglicherweise von dem in den SP-Studien verwendeten spezifischen Format beeinflusst.

Die Ergebnisse aus der Analyse lassen sich in einer Bewertung einer durchschnittlichen Verspätung von 60 Minuten mit CHF 34 zusammenfassen, wobei der Wert beim ÖV etwas niedriger liegt als beim PKW. Die Werte zu den VOT, die auf Basis der gleichen Daten erzeugt wurden, sind ca. 20% niedriger als die Bewertung der Reisezeitzuverlässigkeit. Nach unserem Kenntnisstand, werden die Schätzergebnisse nicht in der Praxis in einer NKA verwendet.

Schweden

Eliasson (2004) berichtet von einer SP-Erhebung mit 600 Autofahrern in Schweden. In einem der Experimente wurden die Befragten um eine Wahl zwischen Alternativen, die hinsichtlich Reisekosten und Reisezeiten variierten (z.B. zwischen 28-52 Minuten), gebeten. Ein weiteres Experiment beinhaltete die Häufigkeit einer großen unerwarteten Verspätung (von einem bestimmten Ausmaß). Auf Basis dieser Grundlage wurde ein Zuverlässigkeitsquotient (Wert der Zuverlässigkeit geteilt durch den Zeitkostensatz) von 0,95 für Pendler, 0,3 für Geschäftsreisen und 0,59 für andere Zwecke errechnet. Ausgedrückt in Geld ist der Wert von Zuverlässigkeit am höchsten im Geschäftsverkehr, denn die VTTS für Geschäftsreisen ist in Schweden fast 5-mal so hoch wie die VTTS für Pendler (und die VTTS für andere Zwecke ist 20% niedriger als die für Pendler).

Börjesson (2008) schätzte Modelle zur Wahl der Abfahrtszeit, vor allem auf SP-Daten für den Straßenverkehr. Das Modell beinhaltet Sanktionen bei Verfrühungen und Verspätungen im Scheduling, außerdem der Standardabweichung der Reisezeitverteilung. Die geschätzten Parameter wurden in einem Transport-Modell für Stockholm (welches auch die Verkehrsumlegung vornimmt) für die Komponente zur Abfahrtszeitwahl verwendet. Das Modell heißt SILVESTER (Kristoffersson und Engelson, 2008), und wurde z.B. verwendet, um das in Stockholm implementierte Kordon-City-Mautsystem sowie alternative Bepreisungssysteme zu beurteilen (Kristoffersson, 2011). Um die PATS (preferred arrival times) zu erfassen hat man in SILVESTER die 'Reverse Engineering' Methode verwendet (basierend auf Teekamp et al. 2002). Diese Methode leitet bevorzugte Abfahrtszeiten von beobachteten Abfahrtszeiten ab. Bei überlasteten Verkehrsbedingungen stimmen diese beiden Zeiten nicht überein (die Verkehrsteilnehmer werden versuchen, die überlasteten Stoßzeiten zu vermeiden, obwohl sie diese Zeiten bei free-flow Geschwindigkeit, also bei ungehindertem Verkehrsfluss, vorziehen würden). Ein Abfahrtszeit-Choice-Modell wird dann zusammen mit den beobachteten Flüssen pro Periode verwendet, um abzuschätzen, was die bevorzugten Abfahrtszeiten gewesen sein muss, die zu diesen Beobachtungen führten. Ein Vorteil dieser Methode ist, dass sie auf teure und zeitaufwendige Reisebefragungen zur Ableitung der PATS verzichtet.

Börjesson et al. (2011a, b) steht beispielhaft für den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung zur Reisezeitzuverlässigkeit. Die Ergebnisse aus dem Scheduling-Modell und dem Mean-Dispersion-Modell (Modell zur Streuung um den Mittelwert) werden miteinander verglichen, woraus sich ergab, dass die Bewertungen aus dem Mean-Dispersion-Modell viel höher sind. Dies zieht die praktische Gültigkeit des Theorems von Fosgerau und Karlström (2010) über

die Gleichwertigkeit der beiden Ansätze in Zweifel. Die Autoren erwähnen als mögliche Gründe für die Abweichung, dass das Mean-Dispersion-Modell auch Faktoren wie Angst, Entscheidungskosten, und die Kosten für Alternativpläne misst. Auch sind die Kosten einer erneuten Planung höher, wenn man eine Fahrt bereits angetreten hat. Im Scheduling-Modell ist dies nicht relevant: Der Negativnutzen einer Ankunft nach der erwarteten Ankunftszeit hängt nur von der Dauer der Verspätung ab, und nicht, wie lange im Voraus die tatsächliche Fahrzeit bekannt ist. In Wirklichkeit spielt dieser Punkt jedoch eine Rolle, und schlägt sich in den Schätzergebnissen für das Streuungsmaß auf die empirischen Daten nieder, die für die Verzögerungen, die unterwegs auftreten können Rechnung tragen.

Norwegen

Hjorth und Ramjerdi (2011) analysierten Daten zu PKW-Fahrten aus der jüngsten norwegischen nationalen Erhebung zum VOT im Personenverkehr VOT. Diese Erhebung enthält auch 1500 SP-Befragungen im öffentlichen Verkehr und 750 für den Luftverkehr. Das Ziel dieser Studie war es, Kostensätze für Zeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu erhalten zur Verwendung in NKA bei der Infrastrukturpolitik in Norwegen. Bei dem SP-Design wurden mehrere Aspekte aus der Design-Studie für die Niederlande (Significance et al., 2007) verwendet. Zum Teil greift man bei der Modellierung mit diesen SP-Daten auf sehr aktuelle Modelle in der Transport-Analyse zurück, wie z.B. Modelle mit rangabhängigen Entscheidungsgewichten. Diese sind allerdings nicht Bestandteil der praktischen Empfehlungen, denn es handelt sich hier um Untersuchungen die ausgeführt würden nach der Lieferung des offiziellen Endberichts (Ramjerdi et al., 2010).

Frankreich

Eine SP-Erhebung bei Busfahrgästen in Frankreich, MVA (2000) lieferte als Ergebnis, dass eine Minute Standardabweichung der Fahrzeit mit nur einem Viertel des Wertes einer Minute Reisezeit im Fahrzeug zu vergleichen war. Dies wurde jedoch nicht in ein Verkehrsmodell integriert.

Australien

Das Design von SP-Befragungen (in der Regel Routenwahl) in der Arbeit von David Hensher und Kollegen in Sydney beinhaltet typischerweise ein Attribut zur Reisezeitvariabilität. Dieses Attribut gibt die von den Befragten erwarteten positiven oder negativen Zeitunterschiede an, mit denen verschiedene Choice-Situationen variieren können. Während also andere Attribute fahrtspezifisch sind, bezieht sich das Variabilitätsattribut auf ein Szenario mit mehreren Fahrten. Es gibt nur eine begrenzte Anzahl von Veröffentlichungen zu den Ergebnissen bezüglich der Bewertung des Attributs der Reisezeitvariabilität. Hensher (2007) liefert eine Zusammenfassung der Ergebnisse von vier Studien. Darin erwähnt wird eine Zahlungsbereitschaft bezüglich der Reduzierung der Reisezeitvariabilität in der Höhe von AUD4.84 pro Stunde Verminderung der Standardabweichung für Pendler und AUD5.02 pro Stunde für Nicht-Pendler.

Drei separate Reisezeitkomponenten werden in diesen Erhebungen verwendet, und die gewichtete VTTS über die Komponenten beträgt AUD18.23 pro Stunde für Pendler und AUD14.53 pro Stunde für Nicht-Pendler. Als solche ist die Zahlungsbereitschaft für eine

Reduzierung der Reisezeit erheblich größer als für die Reduzierung der Reisezeitvariabilität. Hier sei erwähnt, dass eine mögliche Ursache für diese Beobachtung mangelhaftes Verständnis der Befragten zu dem Attribut der Reisezeitvariabilität ist. Tatsächlich fällt in einer Reihe von Studien, in denen Daten mit diesem Attribut verwendet werden (z. B. Hess et al, 2006), die statistische Signifikanz des Attributs je nach verwendeter Spezifikation sehr niedrig aus.

Es sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Verwendung von separaten Reisezeitkomponenten in SP-Befragungen in Bezug zu dem Thema Reisezeitvariabilität steht. Man kann in der Tat argumentieren, dass eine höhere Bewertung von Attributen wie (erhebliche) Reduzierung der Reisegeschwindigkeit durch die Befragten möglicherweise indirekt Ausdruck von der Überzeugung sind, dass diese Komponenten der Reisezeit auch ein höheres Risiko für eine weitere Verzögerung mit sich bringen.

Neuere Arbeiten von Hensher et al. machen stattdessen Gebrauch von der Wahrscheinlichkeit einer pünktlichen Ankunft. In den jüngsten Arbeiten wird dies kombiniert mit Wahrscheinlichkeiten einer verfrühten und verspäteten Ankunft (Hensher et al., 2011; Li et al., 2010, 2011.). Dies wird mittels nichtlinearer Wahrscheinlichkeitsgewichtung modelliert.

Aus der Arbeit von Hess et al. (2006), die auf den Daten aus Sydney basiert, kann man Quotienten ableiten aus den Sensitivitäten der Reisezeitvariabilität und der Zeit im freien Verkehr von 0,13 für Pendler und 0,11 für Nicht-Pendler. Bei der Verwendung der Zeit im zähflüssigem Verkehr im Nenner werden die Quotienten noch kleiner, nämlich 0,1 bzw. 0,09. Diese Ergebnisse sind somit konsistent mit Hensher (2007), wobei Daten zu drei Reisezeitkomponenten verwendet werden, welche auch eine geringere Sensibilität in Bezug auf das Attribut der Reisezeitvariabilität aufweisen, obwohl das Verhältnis bei Hensher (2007) sogar noch niedriger ausfällt.

Obwohl diese Arbeit von einer akademischen Arbeitsgruppe durchgeführt wurde und Gebrauch von aktuellen wissenschaftlichen Methoden macht, ist sie durchaus von direkter praktischer Relevanz: Die SP-Erhebungen wurden in Bezug auf mautpflichtige Straßen durchgeführt und einige der Ergebnisse sind für die Betreiber oder potenzielle Betreiber (Bieter) dieser Mautstraßen bestimmt.

USA

Noland et al. (1998) verwendeten mit Erfolg eine SP-Erhebung mit fünf gleichwahrscheinlichen Ankunftszeiten in jeder Wahlalternative zur Schätzung von Mean-Dispersion Modellen.

Brownstone und Klein (2005) geben einen Überblick über eine Reihe von Studien über Straßenbenutzungsgebühren in Kalifornien. Eine dieser Studien ist von Lam und Klein (2001), wobei RP-Daten (Messungen von Reisezeiten) aus Studien über die Routenwahl für die State Route 91 (SR 91) verwendet werden. Dabei können Autofahrer zwischen Mautspuren und kostenlosen, aber oft überlasteten Straßen wählen. Auf der Grundlage der RP-Daten allein betragen die Werte für Unzuverlässigkeit, gemessen als das 90. Perzentil abzüglich der 50. Perzentile 11-14 Euro/Stunde für Männer und 28-30 Euro/Stunde für Frauen (und VTTS: ungefähr 20 Euro/Stunde). Diese Definition der Zuverlässigkeit unterscheidet nicht zwischen erwarteten und unerwarteten Staus. Beide Variationen können den Grad der Unzuverlässigkeit beeinflussen, allerdings wird die durchschnittliche Überlastung mit Hilfe des Medians ausgedrückt.

Small, Winston und Yan (2002) verwenden auch RP-Daten der SR 91, allerdings in Verbindung mit SP-Daten. Der SP/RP-Wert der Unzuverlässigkeit beträgt 26 Euro/Stunde (Männer und Frauen; VTTS: ungefähr 20 Euro/Stunde). Hier wurde Unzuverlässigkeit als die Differenz zwischen dem 80. und dem 50. Perzentil gemessen. Es lässt sich darüber streiten, ob nun die RP oder SP / RP-Werte repräsentativ für ganz Kalifornien sind. Viele Reisende auf dem SR 91 Korridor (Orange County) sind recht wohlhabend. Die Werte sind sicherlich nicht repräsentativ für die USA insgesamt.

Carrion-Madera und Levinson (2010) verwenden RP-Daten in der Minneapolis-St. Paul Region, die sie erhielten, indem sie Pendler, die mit dem PKW unterwegs sind, mit GPS-Geräten ausstatteten. Sie untersuchten den Wert, den Straßenbenutzer der neuen hochausgelasteten mautpflichtigen Straße (high occupancy toll HOT) I -394 lane beimessen, wo Fahrzeuge mit mehreren Fahrzeuginsassen freien Zugang haben und Fahrzeuge mit nur einem Fahrer eine Gebühr bezahlen müssen. Daneben gibt es eine mautfreie, aber weniger zuverlässige alternative Route. 54 Teilnehmer wurden für die Studie rekrutiert, aber 25 fielen aus und bei 11 gingen die Daten verloren, da das GPS Gerät ausfiel, so dass nur mehr Daten von 18 Teilnehmern vorlagen.

Dennoch konnten signifikante Koeffizienten auf die Daten geschätzt werden. In den Modellen, die auf diesen Daten geschätzt werden, wurden drei Maße für die Zuverlässigkeit verwendet, nämlich die Standardabweichung, der verkürzte rechte Bereich (vom 90. bis zum 50. Perzentil) und der Interquartilbereich (75. bis 25. Perzentil). Alle drei Spezifikationen führten zu statistisch signifikanten und hohen, aber unterschiedliche Werte für die Zuverlässigkeit. Die Autoren treffen keine Wahl zwischen den drei Maßen. Für den gleichen I-394 Korridor wurden auch SP Studien durchgeführt (Tilahun und Levinson, 2007).

Brasilien

Bereits im Jahr 1991 leitete Senna ein Modell mit einem Mittelwert und einer Varianz der Reisezeit explizit aus der Nutzentheorie ab, und gelangt zu einer nicht-linearen Nutzenfunktion, im Unterschied zu den in der Praxis üblichen linearen Approximationen. Die Ergebnisse einer SP-Erhebung in Porto Alegre (Brasilien) legen nahe, dass die Bewertung der Standardabweichung der Reisezeit wesentlich wichtiger ist (pro Minute) als die durchschnittliche Fahrtzeit (ebenso pro Minute).

5.2 Methoden zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Güterverkehr

Tabelle 8. Darstellung der in der Literatur zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Güterverkehr verwendeten Methoden

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Accent/HCG (1995)	SP	Straße	UK	272 Verlader und Spediteure	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Transportzeit, Transportkosten, Information
Bogers und van Zuylen (2005)	SP	Straße	Niederlande	44 Lkw-fahrer	10 Transportzeiten (1 kurz, 8 normal, 1 lang)	Kurze, normale oder lange Transportzeit	keine
Bruzelius (2001)	SP	Straße, Bahn	Schweden (1990, 1992)	277 Verlader Straße, 161 Verlader Bahn	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Transportzeit, Transportkosten, Chance auf Beschädigung
	SP	Straße, Bahn, Luftfahrt	Schweden (1999)	Verlader	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Transportzeit, Transportkosten,
Fowkes et al. (2001)	SP	Straße	UK	40 Verlader und Transportunternehmen	Späteste Abfahrtszeit, Früheste Ankunftszeit und Ankunftszeit für 90, 95 und 98 % der Sendungen	Mean-Dispersion und Scheduling-Modelle	Transportkosten

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
Fowkes (2007)	SP	Straße, Bahn	UK	49 Verlader	Wie oben	Mean-Dispersion und Scheduling-Modelle	Transportkosten, Verkehrsmittel
Hague Consulting Group (1992a)	SP	Straße, Bahn, Wasserstraße	Niederlande	118 Verlader und Transportunternehmen	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Transportzeit, Transportkosten, Chance auf Beschädigung, Frequenz
Halse et al (2010)	SP	Meist Straße,	Norwegen	736 Verlader und Transportunternehmen	Experiment 2: 5 Transportzeiten pro Alternative (unter einander) Experiment 3: Change und Umfang der Verspätung	Mean-Dispersion Modell: Standardabweichung, Nicht-lineare Gewichtung von Wahrscheinlichkeiten	Transportzeit, Transportkosten,
De Jong et al (2001)	SP	Straße, Bahn, Seeschifffahrt	Frankreich	120 Verlader	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Transportzeit, Transportkosten, Frequenz, Flexibilität, angepasste logistische Leistungen

Studie	RP, SP	Verkehrsmittel	Land	Anzahl von Respondenten	Zuverlässigkeit im SP	Zuverlässigkeit im geschätzten Modell	Sonstige Attribute
RAND Europe et al. (2004)	SP	Straße, Bahn, Wasserstraße, Seeschifffahrt, Luftfahrt	Niederlande	435 Verlager und Transportunternehmen	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Transportzeit, Transportkosten, Chance auf Beschädigung, Frequenz
Puckett and Rose (2009)	SP	Straße, Bahn, Wasserstraße	Australien	283 Verlager und Transportunternehmen	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung		Transportzeit (free-flow, langsam, Stau), Dieselkosten, Maut

Großbritannien

In einer Studie über die VOT im Straßenverkehr für das britische Verkehrsministerium (Department for Transport, DFT), Accent/HCG (1995) wurde auch der Wert für die Wahrscheinlichkeit untersucht, dass eine Sendung später als zum vereinbarten Zeitpunkt oder Zeitfenster geliefert wird. In der Stated-Preference-Erhebung wurde das Ausmaß der Verspätung nicht variiert. Man kann die Ergebnisse nur unter der Annahme verwenden, dass sich die Verspätungen gegenüber dem heutigen Wert nicht verändern (der heutige Wert wurde erfragt), und sich nur die Häufigkeit der Verspätungen ändert. Die Ergebnisse zur Zuverlässigkeit wurden nicht in die Empfehlungen für die NKA aufgenommen.

Fowkes et al. (2001) untersuchten verschiedene Formulierungen von Zuverlässigkeit in SP-Daten. Sie folgerten, dass es viele komplexe und vielfältige Gründe gibt, warum Transport- und Logistikunternehmen die Vorhersagbarkeit der Fahrzeit hoch bewerten.

Fowkes (2007) beschreibt SP Experimente aus den Jahren 2003 und 2004 mit grundsätzlich dem gleichen Aufbau wie in Fowkes (2001), allerdings zusätzlich mit Verkehrsträgerwahl. Er erhielt einen Zuverlässigkeitsquotienten (Wert der Zuverlässigkeit geteilt durch den Zeitkostensatz) von 0,31. Die Ergebnisse von beiden Untersuchungen fließen zwar nicht in die offiziellen Richtlinien zur NKA ein. Allerdings werden die Zeitkostensätze für Verspätungen in dem Modal-Split-

Modell (Schiene-Straße) für den Güterverkehr LEFT, als Teil der generalisierten Kostenfunktion verwendet.

Niederlande

Die erste nationale Studie zu den Zeitkostensätzen im Güterverkehr wurde von der Hague Consulting Group (1992) durchgeführt. Diese SP-basierte Studie berücksichtigte auch die Wahrscheinlichkeit von Verspätungen als eines der Attribute. Bei den empfohlenen Werten für die NKA wurden jedoch nur die VOTs angenommen, nicht die Werte für die Zuverlässigkeit (vor allem, weil die mengenseitigen Informationen fehlten).

Bogers und van Zuylen (2005) untersuchten die Variabilität von Transportzeiten aus der Sicht von Lkw-Fahrern. Dies war Teil einer Doktorarbeit an der Technischen Universität Delft. Die Ergebnisse wurden nicht in offiziellen Projekt-Assessments oder Verkehrsmodellen umgesetzt, weil es dazu schon andere Projekte gab (siehe unten). Bogers und van Zuylen präsentierten drei Reisezeiten: Sehr kurze (10% der Tage im Untersuchungszeitraum), durchschnittliche (80% der Tage) und sehr lange Reisezeiten (10% der Tage), und fanden, dass die Autofahrer in ihre Routenwahl die sehr langen Zeiten zweimal so hoch gewichteten wie die anderen Reisezeiten.

In den Jahren 2003-2004 wurde eine Studie durchgeführt (RAND Europe et al., 2004), um die Ergebnisse aus der ersten niederländischen Studie zu den Zeitkostensätzen im Güterverkehr zu aktualisieren. Wie in 1992 zählte die Wahrscheinlichkeit von Transportschäden zu den Attributen. In einer gesonderten Nachfolgestudie (de Jong et al., 2009) wurde das Ergebnis in einen Wert für die Standardabweichung der Fahrzeit je Verkehrsträger umgewandelt, der vorläufig als empfohlener Wert für NKA verwendet wird.

Im Moment wird eine dritte nationale Studie zu den Kostensätzen für Zeit und Zuverlässigkeit (Personen- und Güterverkehr) für das niederländische Ministerium für Infrastruktur und Umwelt durchgeführt (siehe auch Tseng et al., 2009). Dabei werden wiederum SP-Techniken verwendet, wobei jetzt allerdings Unzuverlässigkeit mittels fünf gleich wahrscheinlicher Transportzeiten innerhalb jeder Wahlalternative ausgedrückt wird. Die Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Schweden

Bei Bruzelius (2001) findet sich eine Übersicht über Studien zu Zeitkostensätzen Zuverlässigkeit im Güterverkehr. Zwei in Schweden (ursprünglich auf Schwedisch) durchgeführte Studien werden dabei beschrieben: Die Studien von 1990/1992 für Schiene und Straße von Transek und die Studie von 1999 von Inregia und COWI. Beide Studien stellten Zuverlässigkeit mittels der Wahrscheinlichkeit einer Verspätung dar. Die VOTs aus diesen Studien wurden in den offiziellen Empfehlungen für die NKA in Schweden verwendet, jedoch nicht die Werte für Zuverlässigkeit.

Norwegen

Halse et al. (2010) berichtet über die verwendeten Methoden und Ergebnisse der norwegischen Studie zu den Zeitkostensätzen im Güterverkehr. Das SP-Design wurde teilweise von de Jong et al. übernommen. (2007), wobei eine Darstellung mit fünf Transportzeiten pro Alternative verwendet wurde, die alle gleich wahrscheinlich sind. Die Studie ergab Werte für die

Zuverlässigkeit für Verlader, während die Zuverlässigkeitswerte für Speditionen nicht signifikant waren. Nach unserem Kenntnistand werden diese Werte noch nicht in der Praxis verwendet.

Frankreich

De Jong et al. (2001) führte eine SP-Studie über Attribute bei der Verkehrsträgerwahl beim Güterverkehr in der Region Nord-Pas-de-Calais durch. Das Projekt erzeugte Werte für die Wahrscheinlichkeit von Verspätungen. Diese wurden jedoch nicht weiter verwendet, weil es sich um eine Pilotstudie handelte, mit dem Zweck herauszufinden, welche Variablen für Entscheidungen im Güterverkehr (z.B. Modalwahl) von Belang sind. Die Wahrscheinlichkeit von Verspätungen war eine der signifikanten Einflussvariablen im SP Verkehrsträgerwahlmodell, aber nicht im SP/RP Verkehrsträgerwahlmodell.

Australien

In Australien hat Puckett (zusammen mit Hensher, Rose und anderen) SP-Methoden und Modell-Spezifikationen entwickelt, die eine Interaktion zwischen Verladern und Spediteuren ermöglichen. Das SP-Attribut für Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit einer Verspätung (Pucket und Rose, 2009). Diese Studien wurden an der Universität von Sydney durchgeführt und waren nicht bestimmt, um Werte für offizielle NKA oder Verkehrsmodelle abzuleiten.

5.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Unabhängig vom verwendeten Modellierungsansatz (z.B. Mittelwert-Dispersion, Scheduling, nicht-lineare Wahrscheinlichkeitsgewichtung), sind die Studien zur Bewertung der Zuverlässigkeit in der Regel auf den Einsatz von SP-Daten angewiesen. Die Schätzung eines Modells, das eine Variable für Zuverlässigkeit auf RP-Daten enthält, ist nur in Ausnahmefällen möglich (z.B. Vergleich einer mautpflichtigen Strecke mit zuverlässigen Reisezeiten gegenüber einer mautfreien Strecke mit weniger zuverlässigen, oft deutlich längeren Reisezeiten), wegen der Korrelation zwischen Attributen und Informationen über nicht-gewählte Alternativen. Manchmal werden RP und SP Daten zusammen verwendet (um sich die Vorteile von beiden Methoden der Datenerhebung zu Nutze zu machen), aber auch dann stützt sich die Schätzung der Zuverlässigkeitsparameter stark auf die SP-Daten.

Der Wert für die Zuverlässigkeit (VOR) wurde viel öfter für den Personenverkehr als für den Güterverkehr untersucht, und häufiger für den Straßenverkehr als für die übrigen Verkehrsträger.

Es gibt keine klare Tendenz in der Literatur zu einem bestimmten Modellierungsansatz. Sowohl das Scheduling-Modell als auch das Mean-Dispersion-Modell kamen in älteren und neueren Studien zur Anwendung. Im Allgemeinen wurden gute Ergebnisse in Bezug auf plausible und signifikante Koeffizienten für die Standardabweichung, Varianz oder die Strafen beim Scheduling erzielt. Mehrere Studien enthalten sowohl einen Ausdruck für die Streuung als auch für das Scheduling. Auf diesen Punkt wird noch an einer anderen Stelle in diesem Bericht eingegangen.

Mean-Dispersion-Modelle führten in einigen Studien zu höheren Werten als Scheduling, da Faktoren, wie Stress etc., und der Zeitpunkt der Neuplanung von Reisen miteinbezogen werden.

Verschiedene Studien erzielen sehr unterschiedliche VORs für verschiedene Segmente (vor allem Reisezweck und Einkommen im Personenverkehr, Verkehrsmittel und Verlader-Spediteur im Güterverkehr). Wir empfehlen daher, bei neuen Untersuchungen diese Unterschiede zu berücksichtigen. Eine Unterscheidung nach Verkehrsmittel im Personenverkehr findet man nicht immer: In der Studie zu Zeitkostensätzen in Dänemark zum Beispiel war diese Unterscheidung nach Einbeziehung von vielen anderen erklärenden Variablen nicht mehr signifikant.

Man hat schon auf vielerlei Weise versucht, den Befragten in SP-Studien Zuverlässigkeit zu präsentieren. Welchen Einfluss die Präsentation von der Zuverlässigkeitskenngröße auf das Ergebnis hat, wurde noch nicht systematisch untersucht. Vor allem viele neuere Studien verwenden eine Reihe von Fahrzeiten in einer Wahlalternative (mit gleichen oder ungleichen Eintrittswahrscheinlichkeiten). Wir werden die SP-Präsentation in Anhang 7 im Detail diskutieren. Außerdem machen wir in Anhang 8 konkrete Vorschläge zur Präsentation.

In der Analyse von SP-Daten soll man versuchen die folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Verluste haben einen höheren Wert pro Minute als Gewinne („Loss Aversion“)
- Es gibt unterschiedliche Reaktionskoeffizienten in den Wahlmodellen für verschiedene Reisende, Verlader und Spediteure. Dies kann man mittels wahrgenommener Variablen („Observed heterogeneity“) oder mittels statistischer Verteilungen („unobserved heterogeneity“) berücksichtigen.
- Die Einstellung in Bezug auf Risiko (z.B. Risiko suchen oder vermeiden) soll einbezogen werden.

Während praktisch sämtliche analysierten Studien zu dem Schluss kommen, dass Zuverlässigkeit ein Faktor **von erheblicher Bedeutung** ist, gibt es keine allgemein akzeptierten monetären Werte für Zuverlässigkeit oder Schätzungen der relativen Gewichtung der Reisezeiten und Reisezeitzuverlässigkeit. Die Bewertungen der Zuverlässigkeit in der vorliegenden Literatur stammen aus sehr spezifischen Untersuchungen und die meisten von ihnen werden (noch) nicht in den Nutzen-Kosten-Analysen in den jeweiligen Herkunftsländern verwendet. Oft handelt es sich um relativ kleine Studien, und in einigen Fällen ist die Variabilität nicht das Hauptthema der Untersuchung.

6. Literatur zum Thema Zuverlässigkeit in Transportmodellen und Folgen von Maßnahmen auf Zuverlässigkeit

In verschiedenen Ländern (darunter GB, die USA, Schweden, Dänemark und die Niederlande) haben Wissenschaftler damit begonnen nicht nur an der P-Seite sondern auch an der Q-Seite zu arbeiten. Einige gehen von einer Beziehung zwischen Reisezeit und Variabilität aus (z.B. Kouwenhoven et al., 2005), andere wiederum erstellen eine Beziehung zwischen Verkehrsfluss und Variabilität (vergleichbar mit der Beziehung zwischen Verkehrsfluss und Geschwindigkeit; z.B. aktuelle Doktorarbeiten an der Technischen Universität in Delft), mit kontrollierenden Faktoren wie saisonale Schwankungen, Wetter, Straßenbauarbeiten, Unfällen, Straßengeometrie und Verkehrsmanagement.

Ein genereller Konsens ist noch nicht erzielt worden. Für die Verkehrsplanung und NKA wurden einige vorläufige Netzwerkmodelle vorgeschlagen, wie z.B. Li et al. (2009) und Mahmassani (2011). Diese Modelle verwenden ein stochastisches Netzwerkumlegungsverfahren, um eine Verteilung von Reisezeiten zu generieren, mit welcher die meisten Maßgrößen für Zuverlässigkeit bestimmt werden können. Diese Verfahren sind vom Rechenaufwand sehr aufwändig und lassen sich möglicherweise für große Infrastrukturnetzwerke nicht anwenden. Bei der Festlegung einer geeigneten Methode zur Berechnung der Variabilität für den BVWP ist es daher entscheidend, die Umsetzbarkeit im Zusammenhang mit den gegenwärtigen und zukünftigen Modellen, die dem BMVBS vorliegen, zu berücksichtigen.

6.1 Unterschiedliche Konzepte zur Zuverlässigkeit von Verkehrsmodellen

In der Literatur werden unterschiedliche Konzepte und Modelle zur Zuverlässigkeit vorgeschlagen. Bevor wir eine Übersicht über die relevante Literatur geben, wollen wir einige spezielle Schwerpunkte der Studien herausstellen, sodass sich die einzelnen Untersuchungen besser einordnen lassen.

Unterschiedliche Anwendungen von Modellen

Jedes Modell wurde speziell für bestimmte Anwendungsfälle entwickelt. Beispielsweise gibt es Modelle, die kurzfristige Effekte von Verkehrsmanagementmaßnahmen beschreiben, etwa mikroskopische Simulationsmodelle. Andere Modelle konzentrieren sich stärker auf die langfristigen Effekte von Infrastrukturentscheidungen zu Planungszwecken, etwa viele der auf nationaler Ebene eingesetzten Modelle (auch Schwerpunkt der gegenwärtigen Forschungen in Deutschland). Sie berücksichtigen natürlich Zuverlässigkeiten in unterschiedlicher Weise. Außerdem gibt es für unterschiedliche Infrastrukturen (Straße, Schiene, Wasserstraßen) unterschiedliche Modelle, die zudem von völlig anderen Nutzergruppen ausgehen (während die Hauptnutzer des Straßenverkehrs meist Reisende sind, wird beim Wasserstraßenverkehr von Spediteuren ausgegangen). Die meisten Untersuchungen konzentrieren sich auf den Straßenverkehr, nur wenige Studien betreffen den öffentlichen Verkehr. Zur Zuverlässigkeit von Wasserstraßen gibt es kaum Studien. Des Weiteren befassen sich die meisten Untersuchungen mit dem Personenverkehr, nur wenige mit dem Güterverkehr.

Auswirkungen der Zuverlässigkeit auf die Wahl des Verkehrsträgers

In vielen Studien wird auf Netzwerkebene die Zuverlässigkeit aus der Perspektive des Serviceanbieters berechnet (z.B. der Straßenverkehrsbehörden). In ihnen ist die Zuverlässigkeit eine Netzwerkeigenschaft, die nicht die Verkehrsträgerwahl der Nutzer beeinflusst. Diese wichtige Annahme ist aber offenbar nicht mehr zutreffend, da die Benutzer bei der Verkehrsträgerwahl die Zuverlässigkeit von Alternativen berücksichtigen. Deshalb konzentrieren sich die Modelle zunehmend auf die Benutzerperspektive, vor allem auf die mögliche Beeinflussung der Verkehrsträgerwahl durch die Zuverlässigkeit. Durch Berücksichtigung dieser Beziehung spiegeln die Modelle Verhaltensweisen besser wider und erhöht sich die Modellkomplexität beträchtlich.

Relationsbasierte versus abschnittsbasierte Zuverlässigkeit

Zuverlässigkeit kann in Bezug auf Abschnitte (z.B. eines Straßennetzes) oder in Bezug auf Quelle-Ziel-Relationen definiert werden. Häufig werden aus Aufwandsgesichtspunkten abschnittsbasierte Betrachtungen durchgeführt, da es in der Regel weniger Abschnitte als Quelle-Ziel-Relationen in einem Netzwerk gibt. Abschnittsbasierte Betrachtungen sind demnach hauptsächlich rechnerisch effizienter. Typische Definitionen von abschnittsbasierten Zuverlässigkeitsmaßen sind die Standardabweichung und Varianz der Reise- und Transportzeit.

Allerdings ist relationsbasierte Betrachtung allgemeiner bzw. flexibler und ist auch verhaltenstheoretisch besser begründbar. Um genauer zu sein, ein Reisender oder ein Spediteur berücksichtigt die gesamte Reisezeit, nicht die abschnittsbedingte Reisezeit. Deswegen sind viele Definitionen von Zuverlässigkeit nur relationsbasiert umsetzbar, z.B. Zeitpuffer, Terminverzug, Robustheit usw. Wenn möglich ist daher eine relationsbasierte Methode zu bevorzugen.

Weil ein Transportmodell typischerweise viel weniger Relationspaare als Abschnitte hat, sind straßenabschnittsbasierte Definitionen von Reisezeitabweichungen und andere Unzuverlässigkeiten attraktiv. Es ist deshalb verlockend um abschnittsbasierte Reisezeit und Standardabweichung oder Reisezeit und Varianz zu nutzen als Definition von Zuverlässigkeit am

eine Quelle/Ziel-Relation durch diese einfach hinzufügen für jede Route. Dies ist statistisch nicht korrekt, weil Reisezeiten auf Abschnitten nicht voneinander unabhängig sind. Ein überlasteter Abschnitt mit erhöhten Reisezeiten wird wahrscheinlich auch negative Auswirkungen auf den dahinterliegenden Streckenabschnitt haben. Vor allem wenn sich Rückstau über das Netz ausbreitet sind die Reisezeiten am Links stark korreliert. Demnach sind auch die Standardabweichungen für Abschnitte nicht unabhängig und damit nicht summierbar.

Der beschriebene Zusammenhang ist in Abbildung 3 dargestellt. Für fünf Tage sind die Fahrzeiten auf einer Gesamtroute und den dazugehörigen Streckenabschnitten angegeben. Offensichtlich ist die Standardabweichung der Gesamtreisezeit der Route nicht gleich der Summe der Standardabweichungen der Abschnitte. Das Gleiche gilt für die Varianz. Dies bedeutet, dass es unmöglich ist, die Standardabweichung und Varianz der Relationsreisezeit aus den Standardabweichungen und der Varianz der Abschnittsreisezeit zu berechnen. Abschnittsbasierte Abweichungen könnten summiert werden, wären die Abweichungen von den einzelnen Relationen unabhängig, eine Annahme, die aber fast immer verletzt wird (Hellinga, 2011). Daher definieren die meisten Studien die (Un-)Zuverlässigkeit auf Relationsebene (Fahrtenebene).

Als Fazit lässt sich festhalten, dass eine relationsbasierte Definition von Zuverlässigkeit nicht nur verhaltensbedingt solider, sondern auch statistisch die bevorzugte Methode ist.

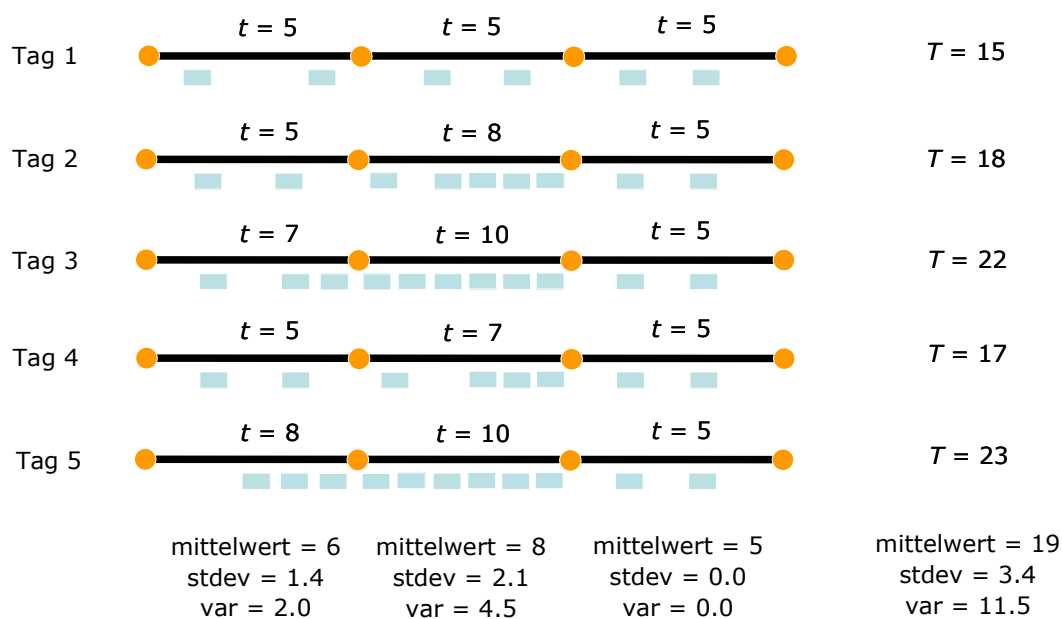


Abbildung 3: Zuverlässigkeit definiert in Bezug auf Standardabweichung und Varianz für Abschnitte and Route

Quellen der Unzuverlässigkeit

Unzuverlässigkeiten haben mehrere Ursachen. Sie lassen sich auf Nachfrage- oder Angebotsschwankungen zurückführen. Nachfrageschwankungen können saisonbedingt eintreten oder durch Bevölkerungsmerkmale, Verkehrsinformationen usw. bedingt sein. Ursache von Angebotsschwankungen können Unfälle, Straßenarbeiten, Witterungsbedingungen, das

Verkehrsmanagement usw. sein. Manche Studien berücksichtigen beide Schwankungsarten, andere entweder Nachfrage- oder Angebotsschwankungen.

Wiederkehrende und einmalige Bedingungen

Unfälle haben großen Einfluss auf die Netzwerkzuverlässigkeit. Sie treten aber nicht oft und nicht immer am selben Ort auf. Auch hinderliche Witterungsbedingungen (Schnee, Überschwemmungen) sind nicht der Normalfall, haben aber ebenfalls großen Einfluss auf die Verkehrsverhältnisse. Solche Ereignisse werden Einmalereignisse genannt – im Gegensatz zu den wiederkehrenden, vom Benutzer des Netzwerks erwarteten Verkehrsbedingungen wie den täglichen Staus. Typischerweise wollen langfristige Transportmodelle die wiederkehrenden Ereignisse erfassen und ignorieren Unfälle und seltene Ereignisse. Straßenarbeiten sind einmalige, aber erwartete Ereignisse, sodass es theoretisch möglich ist, ihre Auswirkungen zu modellieren. Dies ist jedoch nur kurz- oder mittelfristig möglich, denn Straßenarbeiten sind längerfristig noch nicht bekannt. Die Eichung von Modellen, die wiederkehrende Verkehrsbedingungen anhand empirischer Daten beschreiben, muss sorgfältig geschehen, weil die Daten gewöhnlich auch diese Einmalereignisse erfassen. Es gibt spezifische Modelle zur Bestimmung der Auswirkungen einmaliger Bedingungen, die die Zuverlässigkeit des Netzwerks hinsichtlich seiner Robustheit beeinflussen.

Tagesspezifische versus tagtägliche Reisezeitenabweichungen

Die tagesspezifischen Reisezeitabweichungen geben die Verteilung der Reisezeiten für einen bestimmten Abfahrtszeitraum (z.B. für eine bestimmte Stunde, in der morgendlichen Stoßzeit usw.) an einem bestimmten Tag wieder. Hingegen gibt die tagtägliche Variabilität die Verteilung der Reisezeiten zu einer bestimmten Abfahrtszeit (etwa 8 Uhr morgens) an, analysiert über mehrere Tage. Die tagtägliche Variabilität ist Thema der meisten Studien, weil sie am wichtigsten zu sein scheint.

Simulation versus analytischen Ansatz

Zuverlässigkeitsmaße erfordern meist Kenntnisse über die Reisezeitverteilung oder zumindest über einige Merkmale der Verteilung, etwa Standardabweichungen oder Perzentilwerte. Zur Ermittlung einer solchen Verteilung bzw. solcher Verteilungsmerkmale gibt es zwei Vorgehensweisen. Der eine Ansatz simuliert Nachfrage- oder Angebotsschwankungen und interessiert sich für deren Verteilung. Bei der Monte-Carlo-Simulation sind viele Modelldurchläufe erforderlich. Bei jedem Durchlauf wird ein bestimmter Nachfrage- oder Angebotsfall angenommen. Nach vielen (beispielsweise 100 oder mehr) Monte-Carlo-Auswertungen lässt sich die Reisezeitverteilung abschätzen. Es erübrigt sich der Hinweis, dass es sich um ein sehr zeitaufwändiges Verfahren handelt, das für die meisten großen Modellsysteme eher undurchführbar ist. Außerdem müssen die Simulationsergebnisse genau genug sein, damit man wirklichkeitsnahe Reisezeitverteilungen erhält. Somit sind traditionelle statische Verkehrsumlegungsmodelle ausgeschlossen, da dafür mindestens ein Verkehrsumlegungsmodell mit realistischerer Stau- und Rückstaubildung erforderlich ist (wie in vielen dynamischen Verkehrsumlegungsmodellen).

Beim analytischen Ansatz wird nach einer expliziten Beziehung zwischen den Verkehrsbedingungen des Netzwerks (z.B. Verkehrsfluss, Reisezeiten) und den Verteilungsmerkmalen (z.B. Standardabweichungen) unter Verwendung von empirischen Daten oder Simulationsstudien gesucht. Obwohl eine solche analytische Beziehung aus praktischer Sicht interessant erscheint, da nur ein Modelldurchlauf erforderlich ist, ist dieses Verfahren weniger flexibel als das Simulationsverfahren. Oft werden gleichmäßig wachsende Beziehungen den empirischen Daten so angepasst, dass beispielsweise ein Ansteigen der mittleren Reisezeit immer zu einer größeren Standardabweichung führt. Damit werden jegliche messbaren Effekte von Verkehrsmaßnahmen ausgeschlossen, die gegenteiligen Einfluss auf die mittlere Reisezeit und die Reisezeitvariabilität haben. So verlängern Geschwindigkeitsbeschränkungen zwar die Reisezeiten, können aber die Reisezeitvariabilität verringern. Ein Zugfahrplan mit längeren Wartezeiten wird zwar die Fahrtzeit verlängern, aber die Unzuverlässigkeit verringern.

6.2 Zuverlässigkeit in Verkehrsmodellen

In diesem Kapitel geben wir einen Überblick über die wichtigste Literatur zu Zuverlässigkeitsfragen von Verkehrsmodellen, geordnet nach den Herkunftsländern der Studien.

Großbritannien

2001 hat das britische Verkehrsministerium (Department for Transport, DfT) ein Seminar zur Absteckung des Forschungsprogramms zu Zuverlässigkeitsfragen veranstaltet. Man war sich einig, dass die größten Wissenslücken angebotsseitig bestehen (wie lässt sich Zuverlässigkeit mit den Einflussfaktoren in Verbindung bringen?¹⁰). Die meisten der daraufhin durchgeführten Studien beschäftigten sich dann auch mit diesem Thema, insbesondere mit dem Straßenverkehr. Dennoch kam Bates (2010) trotz einiger Fortschritte zu dem Schluss, dass offenbar die Angebotsseite weiterhin Priorität hat.

Arup (2003)

In Großbritannien haben Arup (2003) für das Department for Transport einen Zusammenhang zwischen der Reisezeitzuverlässigkeit und Staus geschätzt, basierend auf der Beobachtung, dass die Variabilität wahrscheinlich zunimmt, wenn die Ströme die Kapazität erreichen. Sie verwenden den sogenannten Congestion Index CI als zentrale erklärende Variable der Variabilität, wobei der

¹⁰ Die in GB praktizierte Unterscheidung zwischen der Nachfrage- und Angebotsseite der Zuverlässigkeit kommt nicht mit der Unterscheidung von P- und Q-Seite überein, die wir in diesem Projekt hantieren. Wir unterscheiden drei Themen:

A Bewertung der Zuverlässigkeit

B Reaktionen der Reisenden (bzw. der Entscheider im Güterverkehr) auf die Zuverlässigkeit

C Einflüsse von Infrastrukturprojekten und anderen Faktoren auf die Zuverlässigkeit.

A ist unsere P-Seite; B und C bilden die Q-Seiten. A und B betreffen die Nachfrage, C das Angebot.

CI definiert wird als das Verhältnis der mittleren Fahrzeit zur free-flow Reisezeit für eine Reise (man beachte: nicht für einen Abschnitt) definiert. Die meisten späteren Studien gebrauchten nicht CI, sondern Reisezeit geteilt durch Routenlänge, aber für neue Arbeiten empfehlen wir (Significance/Goudappel/NEA) um die CI auch zu prüfen. Damit können auf einfache Weise Reisezeitabweichungen errechnet werden aus mittleren Reisezeiten, welche standardmäßig durch Verkehrsmodelle geliefert werden. Die Zuverlässigkeit oder Variabilität der Reisezeit wird als Variationskoeffizient gemessen (CV = Verhältnis von Standardabweichung zu Mittelwert). Anhand der Daten von Strecken in London und Leeds wurden Beziehungen zwischen CV und CI geschätzt und in Arup, 2003 (Kapitel 15) veröffentlicht. Bei der Durchführung der Schätzung wurde die Tendenz festgestellt, dass der Reise CV mit der Reiseentfernung d kleiner wird. Die Ergebnisse für die beiden Datensätze waren zwar nicht identisch, zeigten aber ein gewisses Maß an Konsistenz. Um eine gewisse Übertragbarkeit auf andere Standorte zu erreichen, wurde eine "Kompromissgleichung" vorgeschlagen, wobei eine relative Gewichtung von 75:25 zugunsten der Leeds Ergebnisse vorgenommen wurde:

$$CV = 0.148 CI^{0.781} d^{-0.285}$$

Dies wurde in der neuesten WebTAG Leitlinien (Unit 3.5.7) zur Verwendung in städtischen Studien vorgeschlagen. Ein wichtiger Punkt bei dieser Arbeit besteht darin, dass sie auf den Beziehungen zwischen CV und CI für eine ganze Reise, nicht für einzelne Verbindungen von einem Netzwerk beruht: Die vorgeschlagene Beziehung lässt sich nicht auf eine Weise zerlegen, dass wir sie gleichermaßen auf Link-Ebene und Reise-Ebene anwenden können.

Frith et al. (2004)

Das oben genannte Arup-Modell konzentriert sich auf die tagtägliche Reisezeitvariabilität. In einer Reihe von Projekten hat TRL gemeinsam mit John Fearon und Mott Mac Donald ein Modell für Unfälle (wie Kfz-Unfälle) unter Verwendung von Daten von zweispurigen Schnellstraßen entwickelt. Das INCA genannte Modell (das auf dem älteren INCIBEN-Modell aufbaut) stellt dar, wie sich nach einem Unfall Staus bilden. Ein Unfall führt zu einer Situation, in der die Nachfrage für eine Verbindung die Kapazität übersteigt, sodass es zur Staubildung kommt. INCA kann die Vorteile von weniger Unfällen und zusätzlicher Kapazität berechnen und berücksichtigt Veränderungen der Zuverlässigkeit. Mott McDonald (Sirivadidurage et al., 2009) erweiterte INCA, um auch die tagtägliche Variabilität und auch andere Überland- und Landstraßen – nicht nur zweispurigen Schnellstraßen – einbeziehen zu können. Als Zuverlässigkeitsmaß für Autobahnen (und andere nichtstädtische Straßen) wurde die Standardabweichung verwendet.

Hollander and Liu (2008)

In diesem Bericht (und ähnlichen Berichten) wird der Ansatz beschrieben um mehrere Modelldurchläufe mit leicht veränderten Eingabewerten durchzuführen und so Bandbreiten = Streumaße zu erzeugen. So können Aussagen gemacht werden, die nicht nur für einen Abschnitt gültig sind, sondern auch auf Relationsniveau.

Hollander und Buckmaster (2009)

Die Verfasser entwickelten ein praxisnahes Verkehrsmodell für den Busverkehr, das die Zuverlässigkeit einbezieht. Die angebotsseitigen Daten stammen aus Reisezeitmessungen mithilfe von GPS-Geräten an Bord von 60 Buslinien in Leeds (mit 2100 Haltestellenabschnitten) über einen Zeitraum von einer bis vier Wochen pro Buslinie. Die Daten wurden so kombiniert, dass für jeden Haltestellenabschnitt die konkrete Abfahrtszeit eines Busses ermittelt werden konnte. Die Schwankungen der Reisezeiten sind die tagtägliche Variabilität. Die Zuverlässigkeitsstufen (als Standardabweichung gemessen) wurden an eine Datenbank mit geographischen und nachfragebezogenen Angaben gekoppelt. Regressionen, die das Nachlassen der Zuverlässigkeit erklären, ergaben kaum Übereinstimmungen. Dennoch konnte eine Reihe wichtiger Faktoren bestimmt werden (z.B. Abschnittslänge, Busvorrang, Zeitraum der Verkehrsüberlastung). Anhand der Ergebnisse wurden die Auswirkungen möglicher Maßnahmen auf die Zuverlässigkeit berechnet. Haben Busse Vorrang, ist beispielsweise eine durchschnittliche Reduktion der Reisezeit-Standardabweichung um 15% möglich. Das ist voraussichtlich die allgemeine Auswirkung von Vorrangmaßnahmen. Ein anderes Beispiel ist die strenge räumliche Trennung des Busverkehrs vom allgemeinen Verkehr, die die Zuverlässigkeit um 50% verbessern würde.

Bei der Evaluierung wurden die Kosten der Unzuverlässigkeit zu den normalen Zeitkosten addiert. Dafür mussten die Ergebnisse des Angebotsmodells von der Abschnittsebene auf die Relationsebene transformiert werden. Zur Lösung des Problems, dass Standardabweichungen nicht linear addiert werden können, wurden für jeden Abschnitt einer Lognormalverteilung eine Reihe von Reisezeiten mit mittlerer Abweichung und die Standardabweichung berechnet. Danach lassen sich die Reisezeiten der Abschnitte addieren, sodass man die Verteilung der Reisezeiten auf Relationsebene erhält, aus der sich die relationsbezogene Standardabweichung ableiten lässt. Diese Methode stellt eine interessante Möglichkeit dar, um Standardabweichungen auf Quelle-Ziel-Ebene zu berechnen aus Standardabweichungen auf Abschnitt-Ebene, oder wenn unterschiedliche Routentypen verwendet werden. Diese Methode führt aber nur zu realistischen Ergebnissen wenn die Reisezeitverteilungen von auf einander folgenden Abschnitten die Abhängigkeiten zwischen den Abschnitten berücksichtigen. Für Straßenverkehr bedeutet das etwa dass ein Umlegungsmodell nötig ist in dem Staus auf einem Abschnitt auch zu Staus auf früheren Abschnitten führen können. Und im Busverkehr muss man dann einbeziehen dass Verspätungen im Beginn der Route oft Anlass geben zu weiteren Verspätungen.

Der in der Nutzen-Kosten-Analyse verwendete Geldwert der Unzuverlässigkeit gilt für die mittlere Verfrühung bzw. Verspätung. Das heißt, dass die Standardabweichung des Angebotsmodells in die mittlere Verfrühung oder Verspätung umgewandelt werden muss. Dies erfolgte offensichtlich durch Erzeugung einer Reihe von Abfahrtszeiten auf der Grundlage der Standardabweichung für Fahrten mit konkreten Abfahrts- und bevorzugten Ankunftszeiten, wonach die mittlere Verfrühung bzw. Verspätung berechnet wurde. Es wurde angenommen, dass ein Reisender seine Abfahrtszeit der mittleren Verfrühung/Verspätung anpasst. Anhand der Abfahrtszeiten wurden die Kosten der Unzuverlässigkeit berechnet – unter Verwendung des Geldwerts von Fahrplanverspätungen aus Hollander (2006) und der anschließenden Forschungsarbeiten in Leeds.

Niederlande

Kouwenhoven et al. (2005)

Die Bestrebungen, die Reisezeitvariabilität in das Nationale Niederländische Transportmodell (LMS: Landelijk Modell Systeem) und die damit verknüpften Neuen Regionalen Modelle (NRM: Nieuw Regionaal Model) aufzunehmen, begannen im Jahr 2004. Diese Modelle werden in großem Umfang für Szenario-Studien und als Input für die Nutzen-Kosten-Analyse der Verkehrsinfrastrukturvorhaben sowie verkehrspolitischen Maßnahmen verwendet. Die Ergebnisse sind in Kouwenhoven et al. (2005) veröffentlicht. Ziel dieser Studie war es, ein Tool zur Vorhersage der zukünftigen Zuverlässigkeit von Reisezeiten von Netzwerken zu entwickeln, wobei Variablen verwendet wurden, die schon in dem Modell zur Verfügung stehen (Verkehrsdichte, Geschwindigkeit¹¹, Streckenlänge, Höchstgeschwindigkeit). Die Studie befasst sich ausschließlich mit dem Straßenverkehr (obwohl das Modellsystem multimodal ist).

In dieser Studie wird die erwartete Reisezeit als der Median oder Mittelwert aller Reisezeiten für einen bestimmten Netzwerkabchnitt definiert, wie sie an allen Werktagen des Jahres zu einer bestimmten Tageszeit beobachtet wurde. Variationen zwischen verschiedenen Tageszeiten wurden nicht berücksichtigt, da die Reisenden bereits damit rechnen dass die Reisezeiten in den Stoßzeiten länger sind als in anderen Tageszeiten. Diese Variationen werden darum als Unterschied in Reisezeit und nicht Unterschied in Zuverlässigkeit betrachtet.

Die verwendeten Daten stammen von Messungen der Geschwindigkeit und Verkehrsstärke aus Automatischen Dauerzählstellen auf dem niederländischen Straßennetz (in diesem Fall nur Autobahnen). In dem Datensatz sind die Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken über 15-Minuten-Perioden gemittelt. 212 Routen mit Längen zwischen 2 und 120 km wurden in diesem Netzwerk identifiziert.

In der Studie wurden zwei Hauptverkehrszeiten betrachtet: Die morgendliche Stoßzeit (7:00 bis 9:00 h) und den Feierabendverkehr (16:00 bis 18:00 Uhr).

Vier Zuverlässigkeitsindikatoren wurden definiert:

- Wahrscheinlichkeit P_{OnTime} , dass eine Reise "pünktlich" verläuft (Abweichung von der erwarteten Fahrzeit beträgt weniger als 10 Minuten für Reisen bis zu 50 Minuten oder weniger als 20% für längere Reisen),
- Wahrscheinlichkeit $P_{\text{NotTooLong}}$, dass eine Reise nicht "zu lange" dauert (Abweichung von der erwarteten Fahrzeit beträgt weniger als 10 Minuten für Reisen bis zu 50 Minuten oder weniger als 20% für längere Reisen, aber nur für Fahrzeiten, die länger sind als erwartet, nicht für Fahrzeiten die kürzer sind als erwartet),
- 10. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (TT10),
- 90. Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung (TT90).

¹¹ Für 2020, 2030 usw. sollen Verkehrsdichte und Geschwindigkeit vom Transportmodell als Vorhersagen geliefert werden, wie üblich..

Regressionsgleichungen mit mehreren funktionalen Formen wurden geschätzt, um jeden der vier oben genannten Indikatoren zu erklären, wobei die Daten der 212 Routen für beide Hauptverkehrszeiten verwendet wurden. Die Verkehrsstärke wurde als erklärende Variable entfernt, da es im Geschwindigkeits-Fluss-Diagramm (q-v-Diagramm) in der Regel zwei mögliche Verkehrssituationen für dieselbe Verkehrsstärke gibt (einerseits freier Fluss mit relativ hoher Geschwindigkeit und andererseits Überlastung mit relativ niedriger Geschwindigkeit).

Die Geschwindigkeit, gemessen als Streckenlänge, geteilt durch die durchschnittliche Reisezeit, mit einer Korrektur für die Geschwindigkeitsbegrenzungen, erwies sich als die beste erklärende Variable für P_{OnTime} und $P_{\text{Not Too Long}}$.

Die beiden Perzentil-Maße hängen auch von der durchschnittlichen Fahrzeit, Durchschnittsgeschwindigkeit und Reisedauer ab. Demnach führt eine Verbesserung der Reisezeiten auch zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit. Es könnte jedoch verkehrspolitische Maßnahmen geben, die sehr unterschiedliche Auswirkungen auf die Reisezeit und Zuverlässigkeit haben könnten. Niedrigere Tempolimits (z.B. 80 km/h) in Ballungsräumen zum Beispiel könnten die Reisezeit reduzieren und die Zuverlässigkeit erhöhen. Dies kann nicht durch Variabilitätsfunktionen, die in erster Linie auf der Verkehrsgeschwindigkeit basieren, vorhergesagt werden. Wenn die Variabilität und die Geschwindigkeit (und damit Reisezeit) perfekt miteinander korrelierten, könnte man in der NKA einfach so vorgehen, dass man eine Prämie auf die Reisezeitvorteile veranschlagt, um die Zuverlässigkeit zu berücksichtigen.

Die Auswirkungen von Unfällen (gewöhnliche und große), Baustellen und Niederschlägen wurden auch in die Regressionen als Faktoren einbezogen, wodurch die Geschwindigkeit gegenüber perfekten Bedingungen niedriger ausfällt.

Die Regressionsergebnisse wurden verwendet, um ein Post-Processing-Tool namens LMS-BT konstruieren, das aus den Modellresultaten des LMS/NRM die Variabilität berechnet. Hieraus wird in einem weiteren Schritt die Zuverlässigkeit berechnet, die als Standardabweichung gemessen wird, und die dann zusammen mit vorläufigen Werten für die Zuverlässigkeit aus Hamer et al, 2005 (siehe auch de Jong et al, 2009.) verwendet wird, um die Kosten von Unzuverlässigkeit zu berechnen.

Die Arbeit von Van Lint, Van Zuylen und Tu

Van Lint et al. (2007), von der Universität in Delft, legen dar, dass Indikatoren für die Reisezeitzuverlässigkeit meist mit den Eigenschaften der tagtäglichen Reisezeitverteilung auf beispielsweise einem Autobahnkorridor verbunden sind. Sie beobachteten eine bestimmte Tageszeit (und Wochentag) für einen längeren Zeitraum, wie z.B. ein Jahr. Diese Verteilung ist breit und stark verzerrt; sie hat einen langen Ausläufer nach rechts. Diese sehr langen Reisezeiten (viel länger als erwartet) verursachen volkswirtschaftlich die höchsten Kosten. Daraus ziehen sie die Schlussfolgerung, dass die meisten der derzeit gebräuchlichen Maße für die Unzuverlässigkeit (Varianz, Standardabweichung) nur unter Vorbehalt verwendet und interpretiert werden sollten, da sie diese Verzerrungen nicht explizit berücksichtigen und empfindlich auf Ausreißer reagieren. Sie schlagen einen Indikator für die Unzuverlässigkeit vor, der sowohl ein Maß für die Breite der

Reisezeitverteilung als auch die Schiefe umfasst.¹² In unseren Empfehlungen im Kapitel 9 verwenden wir die Standardabweichung oder Schedule-Delays (also nicht die Schiefe der Verteilung), weil wir und die meisten Experten heute meinen dass diese Komplikation zu wenig Mehrwert hat (vor allem wenn man sich vor allem richtet auf NKA von Neubau und Ausbau). Wir schlagen aber wohl vor um Ausreißer zuerst zu entfernen.

Diese Autoren haben (zusammen mit van der Zijpp und Hoogendoorn) auch an Schätzverfahren zur Reisezeit gearbeitet, die auf Geschwindigkeitsmessungen auf Abschnittsebene (**Trajectory Verfahren:** Sektionsmessung) beruhen. Solche Sektionsmessungen erfassen dasselbe Fahrzeug zweimal in gewissem Abstand (z.B. 1000 Meter) etwa durch Kennzeichen oder Bluetooth-Erfassung und errechnen aus dem Zeitunterschied die Reisegeschwindigkeit dieses Abschnittes.

Um Sektionsmessungen auf relativ kurzen Abschnitten oder Geschwindigkeitsmessungen als Punktmessungen umzusetzen in Reisezeiten einer Route schlagen die Autoren eine dynamische Methode (Trajektmethode) vor. Hierbei wird ein bestimmtes (gedachtes) Fahrzeug das zu einer bestimmten Zeit abfährt, gefolgt. Wenn das Fahrzeug den ersten Abschnitt zur Zeit t_1 einfährt, wird die Reisezeit aus der zu der Zeit geltenden Geschwindigkeit berechnet. Für den nächsten Abschnitt wird zunächst die Zeit berechnet als $t_2 = t_1 + RZ(t_1)$, wobei $RZ(t_1)$ die Reisezeit des ersten Abschnitts ist, und die Geschwindigkeit des nächsten Abschnittes herangezogen zum Zeitpunkt t_2 . Die neue Reisezeit $RZ(t_2)$ wird berechnet und zu der Reisezeit $RZ(t_1)$ aufaddiert. Dieser Vorgang wird wiederholt bis die Reisezeit des letzten Abschnittes aus der Geschwindigkeit aus der Geschwindigkeit zu dem Zeitpunkt dass das gedachte Fahrzeug dort angekommen ist abgeleitet wird. Diese Methode addiert also nicht die Reisezeiten aller Segmente zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern die jeweiligen Reisezeiten zum Zeitpunkt des Eintreffens eines gedachten Fahrzeuges auf dem jeweiligen Abschnitt.

Die Methode kann daher eingesetzt werden wenn nicht genügend Daten vorliegen aus Untersuchungen die Fahrzeuge mit GPS oder Kennzeichenerfassung folgen, um aus Punkt- oder Abschnittsmessungen von Geschwindigkeiten Rückschlüsse auf Reisezeiten auf Routenniveau zu erlauben. Die Methode bleibt ein Ersatz; echte Fahrzeugverfolgung wie in Schweden und mit kleineren Stichproben in den Niederlanden liefern genauere Daten.

Bei Anwendung der Methode in den Niederlanden konnten aufgrund der Datenlage Lkw und Pkw nicht unterschieden werden und wurden alle Kraftfahrzeuge ohne Differenzierung nach Fahrzeugtyp berücksichtigt. Wegen der geringeren Höchstgeschwindigkeit von Lkws hatte dies negative Auswirkungen auf die Genauigkeit der Ergebnisse.

In seiner Doktorarbeit entwickelt Tu (2009) eine Funktion, bei der die Reisezeit-Unzuverlässigkeit auf einem Autobahnabschnitt durch den Verkehrszufluss zu diesem Abschnitt erläutert wird. Unzuverlässigkeit wird als die Differenz zwischen dem 90. und dem 10. Perzentil der Reisezeitverteilung (bei einem gegebenen Verkehrszufluss) gemessen. Nach seiner Definition beinhaltet die Unzuverlässigkeit sowohl die Reisezeitvariabilität als auch die Reisezeitinstabilität. Wenn sich der Verkehrsfluss unterhalb eines kritischen Zuflussniveaus befindet, ist die Reisezeit sicher (keine Variabilität) und stabil. Zwischen diesem Niveau und dem

¹² Das Maß für die Breite der Reisezeitverteilung ist $((TT_{90}-TT_{10}) / TT_{50})$ und das Maß für die Schiefe ist $((TT_{90}-TT_{50}) / (TT_{50}-TT_{10}))$, wobei TT die Perzentile bezeichnet).

kritischen Kapazitätzufluss, wird die Reisezeit unsicher und instabil. Oberhalb des kritischen Niveaus für den Zufluss (also in einer Situation nahe an der Kapazitätsgrenze, wo der Verkehr jederzeit zusammenbrechen könnte), werden Reisezeiten etwas sicherer, jedoch der Verkehrsfluss instabil (es ist sehr wahrscheinlich, dass ein paar Minuten später ein Stau auftritt, mit anschließenden kleineren Strömen und längeren Fahrzeiten).

Tus Gleichungen für Unzuverlässigkeit unterscheiden zwischen diesen Regimen. Unzuverlässigkeit wird als die Differenz zwischen dem 90. und dem 10. Perzentil der Reisezeitverteilung (bei einem gegebenen Verkehrszufluss) gemessen. Hierzu wird zunächst unterschieden zwischen den Fällen, dass der Verkehr nicht zusammenbricht und den Fällen dass Stau herrscht. Für beide Fälle wird die Differenz (in Perzentilen) separat berechnet und multipliziert mit der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit der Fälle. Ersteres stellt dann die Variabilitätskomponente (unabhängig vom Zufluss, aber z.B. abhängig vom Wetter und Unfälle) dar und letzterer die Instabilitätskomponente, die vom Zufluss abhängt. Die Reisezeitunzuverlässigkeit lässt sich demnach wie folgt als (angenäherte) Funktion darstellen (TLZ-Funktion: Tu, van Lint, van Zuylen):

$$TTUR(q_{in}) = TTUR_0 (1 + \beta (q_{in}/\lambda_{tr})^\gamma)$$

Wobei:

$TTUR(q_{in})$: Reisezeitunzuverlässigkeit für einen gegebenen Zufluss q_{in}

q_{in} : Verkehrszufluss

$TTUR_0$: Reisezeitunzuverlässigkeit unter free-flow-Bedingungen (wird als Modellparameter geschätzt auf Messungen der Geschwindigkeit und Verkehrsstärke)

λ_{tr} : kritischer Kapazitätzufluss

β, γ : Parameter.

In einer separaten Analyse bezieht Tu die Variabilitätskomponente der Reisezeitunzuverlässigkeit ($TTUR_0$) auf die Straßengeometrie, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Unfälle und das Wetter. Die Zuverlässigkeitgleichungen wurden auf Messdaten von Geschwindigkeiten (in 10 Minuten Intervallen) bei verschiedenen Autobahnen in den Niederlanden kalibriert (umgerechnet in Reisezeiten unter Verwendung des trajectory Verfahrens / Sektionsmessung).

Li, Bliemer und Bovy (2009)

Li et al. (2009) schlagen einen zuverlässigkeitsbasierten Ansatz für den dynamischen Entwurf stochastischer Netzwerke vor (z.B. mit schwankenden Netzwerkkapazitäten), bei dem die Netzwerkzuverlässigkeit optimiert wird. In dieser Studie werden die Abfahrtszeit und die Routenwahl des Reisenden durch die Zuverlässigkeit der Route zum betreffenden Zeitpunkt beeinflusst, ausgedrückt als Standardabweichung. Zur Bestimmung der Reisezeitunzuverlässigkeit des Netzwerks für alle Infrastrukturszenarien (neue Infrastruktur oder Erweiterungen der vorhandenen Infrastruktur) wurde die Monte-Carlo-Simulation verwendet, wobei viele Verteilungsszenarien für Netzwerkkapazitäten benutzt wurden. Zur Ermittlung des Benutzer-Equilibriums wurde das Routenwahlverhalten mithilfe einer allgemeinen Kostenfunktion beschrieben, die sowohl die mittlere Reisezeit als auch die Standardabweichung der Reisezeit und Fahrplanverfrühungen bzw. -verspätungen berücksichtigt. Ein wichtiges Ergebnis ist, dass sich für

die Reisezeitzuverlässigkeit (d.h. die Standardabweichung) keine wachsende Abhängigkeit von der mittleren Reisezeit ergibt. Bei mehr Staus nimmt die Standardabweichung mit der mittleren Reisezeit zu, wobei jedoch nach der Verkehrsspitze, wenn sich die Überlastung wieder verringert, die Standardabweichung hoch bleibt, während sich die mittlere Reisezeit verkürzt (siehe nachstehende Abbildung - PAT ist die bevorzugte Ankunftszeit). Daher folgern die Verfasser, dass es eine einfache (oft lineare) Beziehung zwischen der Standardabweichung und der mittleren Reisezeit nicht gibt. Wir denken dass es kurz- und mittelfristig zulässig ist die Beziehung zwischen durchschnittlicher Reisezeit und Standardabweichung zu nutzen um Zuverlässigkeitsnutzen von Infrastrukturprojekten in der NKA anzunähern. Langfristig jedoch ist eine flexiblere Herangehensweise auf Basis einer Monte-Carlo Simulation vorzuziehen, wie sie durch Li et al. (2009) bereits für ein kleineres Netzwerk umgesetzt wurde und unserer Meinung auch für große Netzwerke möglich sein wird.

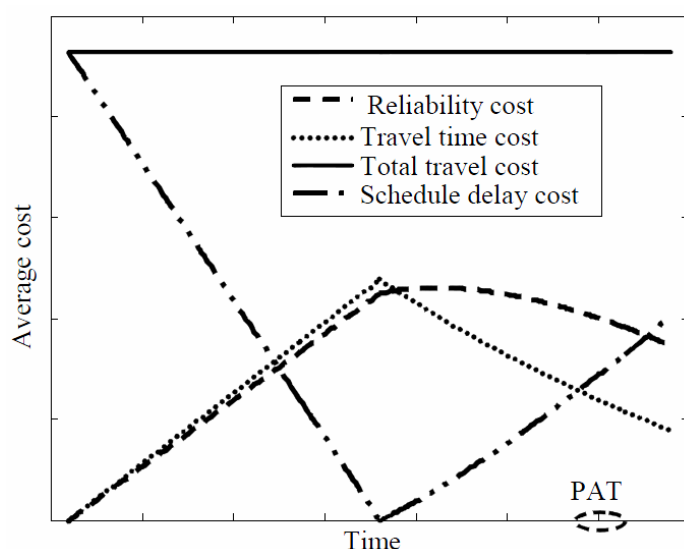


Abbildung 4: Benutzer-Equilibrium für die Reisekosten einschließlich Zuverlässigkeitskosten

Hellinga (2011)

Im Rahmen einer Forschungsarbeit an der Technischen Universität Delft analysierte Hellinga die Beziehung zwischen der Standardabweichung der Routenreisezeiten und der jährlichen durchschnittlichen Reisezeit. Er benutzte dafür Daten der Induktionsschleife unter der Autobahn A12 zwischen Den Haag und Utrecht (24,5 km Länge) und berechnete die Reisezeiten (nach dem Trajektorien-Verfahren/Sektionsmessung) für 255 Werktage 2009. Jeder Tag wurde beschrieben durch 96 Intervalle von jeweils 15 Minuten. Für jedes dieser 15-Minuten-Intervalle wurden der Durchschnitt und die Standardabweichung über alle 255 Tage berechnet.

Es wurde also lediglich eine Route untersucht (diese wurde nicht in mehrere Teilabschnitte unterteilt um mehr Messdaten zu bekommen, obwohl es auf dieser Route mehrere Abschnitte gibt). Mit diesen Daten ist es möglich, die tagtäglichen Schwankungen der Reisezeiten zu berechnen. Unter Ausschluss extremer Reisezeiten infolge von Unfällen, Unwetter, zeitweiligen Straßensperrungen und anderen einmaligen Bedingungen wurde eine nahezu lineare

Abhängigkeit zwischen durchschnittlicher Reisezeit und Standardabweichung gefunden (siehe nachstehende Abbildung).

Extreme Ereignisse die nur selten auftreten (z.B. einmal pro Jahr) haben lediglich einen kleinen Einfluss auf die durchschnittliche Reisezeit aber einen großen Einfluss auf die Standardabweichung, so dass Berücksichtigen dieser Ereignisse Punkte oberhalb der Regressionsgeraden erzeugen würde. Straßenbauarbeiten, welche in den Niederlanden typischerweise nachts zwischen 23.00 und 6.00 ausgeführt werden, gehen in der Regel einher mit Geschwindigkeitsbegrenzungen. Diese führen also zu niedrigeren Geschwindigkeiten aber ungefähr den gleichen (sehr niedrigen) Standardabweichungen, da zusätzlich zu dem direkten Geschwindigkeitseffekt keine weitere Staubildung zu erwarten ist und somit Punkte unterhalb der Regressionsgeraden erzeugt werden. Durch Ausfiltern dieser besonderen Fälle wird daher eine bessere lineare Beziehung erreicht.

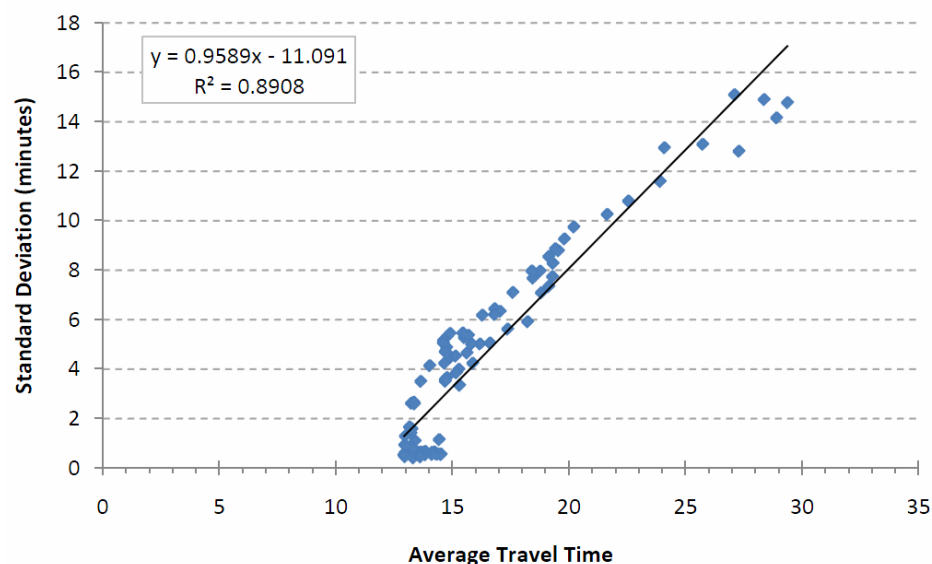


Abbildung 5: Daten der Autobahn Den Haag - Utrecht, Standardabweichung und durchschnittliche Reisezeit

Meeuwissen, Snelder und Schrijver (2004)

Das in den Niederlanden von TNO entwickelte SMARA-Modell verwendet die Monte-Carlo-Simulation zur Ermittlung der Reisezeitverteilung (siehe Meeuwissen et al. 2004). Bei jedem Simulationsdurchlauf wird ein spezieller Fall der Angebots- und Nachfrageverteilung verwendet und dann ein statisches Benutzer-Equilibrium unter der Annahme vertikaler Staus berechnet (d.h., die Staus haben keine physische Länge, sodass kein Rückstau auf rückwärtigen Verbindungen eintritt). Der Rechenaufwand für das System ist groß und verwendet ein schnelles statisches Verfahren zur Verkehrsflussermittlung. Da das statische Verfahren nicht wie ein quasidynamisches oder ein dynamisches Modell horizontale Staus berücksichtigt (d.h. Staus mit physischer Länge, deren Rückstau sich eventuell auf die rückwärtigen Verbindungen ausdehnt), sind die ermittelten Reisezeitverteilungen nur eine Näherung und können bei realistischeren Zuweisungsmodellen stark davon abweichen.

Peer et al. (2012)

Peer et al. (2012), von der Freien Universität Amsterdam, versuchen einfache Regeln für die Vorhersage der Variabilität (wiederum nur für den Straßenverkehr) für den Einsatz in der NKA aufzustellen. Sie betrachten nur Variationen bei den Reisezeiten, die nicht von den Fahrern erwartet werden. Sie verwenden zwei unterschiedliche Konzepte der Reisezeitvariabilität, je nachdem, ob der Fahrer über ungenaue oder genaue Informationen über die erwartete Fahrzeit verfügt. Im ersten Fall (ungenauere Informationen) gehen sie davon aus, dass für eine bestimmte Straßenverbindung die erwartete Reisezeit an allen Werktagen konstant ist. Im zweiten Fall (genaue Informationen), spiegeln die erwarteten Reisezeiten tagesspezifische Faktoren wie das Wetter, den Wochentag oder die Jahreszeit wieder. Für beide Fälle verwenden sie die Standardabweichung der Reisezeit als Maß für die Variabilität, mit dem Argument, dass die Abweichung von der erwarteten Ankunftszeit zwar ein besseres Maß sein könnte, aber dass Beobachtungen von bevorzugten Ankunftszeiten nicht verfügbar sein werden, und dass unter bestimmten Bedingungen die Schedule-Delays bereits von der Standardabweichung erfasst werden (Fosgerau und Karlström, 2010).

Die verwendeten Daten stammen aus 145 Autobahnabschnitten (in eine Richtung) in den Niederlanden, mit Längen zwischen 2 und 37 km. Die Geschwindigkeitsmessungen von Induktionsschleifen (automatische Dauerzählstellen) auf diesen Abschnitten für alle Werktage im Jahr 2008 werden zunächst zu durchschnittlichen Reisezeiten auf Abschnittsniveau zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert. Separate Regressionen werden für jeden Abschnitt und jedes Quartal durchgeführt.

Die Reisezeit wird (als erklärende Variable) in Form von Verspätungen relativ zu den free-flow Reisezeiten berücksichtigt. Der Unterschied zwischen der mittleren Reisezeit und der free-flow-Reisezeit ergibt die durchschnittliche Verspätung. Es wurde sowohl für den Fall der genauen als auch der ungenauen Informationen eine positive Beziehung zwischen Variabilität und mittleren Verspätung gefunden, wobei allerdings die Beziehung nicht-linear ist: die erste Ableitung der Variabilitätsfunktion ist abnehmend: Variabilität nimmt zu wenn (Reisezeit/free-flow Reisezeit) wächst, aber immer langsamer. Bei längeren Verzögerungen ist das Verhältnis beinahe linear. Es wurde außerdem festgestellt, dass die nicht-lineare Beziehung zu einem erheblichen Teil durch die Unterscheidung von drei Regimen berücksichtigt werden kann:

- Free-flow-Konditionen: Die Geschwindigkeit ist höher als das 0,9-fache der Free-Flow-Geschwindigkeiten.
- Überlastete Bedingungen: Die Geschwindigkeit ist niedriger als das 0,9-fache der Free-Flow-Geschwindigkeiten.
- Vollkommen überlastet (hypercongestion): Geschwindigkeiten unterhalb der Geschwindigkeit bei Nachfrage=Kapazität auf der Kurve des Geschwindigkeits-Fluss-Diagramms (Speed-Flow-Kurve).

Van Oort (2011)

Mit Bezug auf den öffentlichen Verkehr zeigt eine kürzlich veröffentlichte Doktorarbeit (Van Oort, 2011) die Wechselwirkung zwischen der Variabilität auf der Angebotsseite (z.B. Fahrzeuge) und der Nachfrageseite (d.h. Passagiere). Die Doktorarbeit präsentiert Werkzeuge und Algorithmen, die die Berechnung der Effekte von Unzuverlässigkeit auf Passagiere ermöglichen. In den Niederlanden wurde diese Methode vor kurzem erfolgreich in einer Studie über Straßenbahnen in Utrecht angewandt. Dies war das erste Mal, dass in den Niederlanden die Effekte von Zuverlässigkeit des Fahrbetriebs auf Fahrgäste explizit berechnet und in einer NKA für den öffentlichen Verkehr berücksichtigt wurden.

Die Arbeit von Van Oort beschäftigt sich mit der Servicezuverlässigkeit speziell von städtischen öffentlichen Verkehrsmitteln und konzentriert sich auf die Auswirkungen auf Reisende. Es wurde nachgewiesen, dass es mehrere vielversprechende Möglichkeiten gibt, die Servicezuverlässigkeit (z.B. die Aspekte der Leistungssicherheit in Bezug auf den Fahrplan aus der Sicht der Benutzer) zu verbessern. Dies sei einer der wichtigsten Qualitätsaspekte des öffentlichen Verkehrs. In der Doktorarbeit werden mehrere Planungsinstrumente vorgestellt, die eine bessere Servicezuverlässigkeit ermöglichen können. Außerdem werden Vorhersageinstrumente dargestellt und ein neuer Indikator eingeführt, der den Einfluss der Servicezuverlässigkeit besser als herkömmliche Indikatoren ausdrückt. Gemeint ist die zusätzliche Reisezeit pro Reisenden. Auf diese Weise wird die Beurteilung der Vorteile des öffentlichen Verkehrs spürbar verbessert und werden kostenwirksame Qualitätsverbesserungen ermöglicht. Der Verfasser weist nach, dass die Auswirkungen unzuverlässiger Serviceleistungen auf die Reisenden, d.h. die Verlängerung der durchschnittlichen Reisezeit, die Reisezeitvariabilität erhöhen und das Finden eines Sitzplatzes in einem Fahrzeug unwahrscheinlicher machen. Das zeigt, wie stark die Fahrtzeitvariabilität des Fahrzeugs ist (z.B. die Servicevariabilität), die Servicezuverlässigkeit und die Reisezeit des Reisenden beeinflussen. Es werden mehrere herkömmliche Quantifizierungsverfahren für die Servicezuverlässigkeit dargestellt, u.a. Pünktlichkeit und Regelmäßigkeit. Der Verfasser zeigt die Mängel letzterer Indikatoren auf, nämlich fehlende Berücksichtigung der Folgen für den Reisenden. Die herkömmlichen Indikatoren konzentrieren sich zu stark auf die Angebotsseite des öffentlichen Verkehrs und erlauben so keine saubere Analyse der Auswirkungen auf die Reisenden. Um die Mängel der herkömmlichen Indikatoren zu kompensieren, wird ein neuer Indikator vorgeschlagen, und zwar die durchschnittliche zusätzliche Reisezeit pro Reisenden. Dieser Indikator überträgt die angebotsseitigen Indikatoren, beispielsweise Pünktlichkeit, auf die zusätzliche Reisezeit, die ein Reisender durchschnittlich für die Fahrt von der Abfahrts- bis zur Zielhaltestelle aufgrund der Servicevariabilität benötigt. Die durchschnittliche zusätzliche Reisezeit kann pro Haltestelle oder pro Linie berechnet werden und ermöglicht die explizite Berücksichtigung der Servicezuverlässigkeit in der Nutzen-Kosten-Rechnung, da sich das Zuverlässigkeitsniveau der Serviceleistungen in normale Reisezeiten umrechnen lässt. Ebenfalls aufgezeigt werden die Vorteile eines Zuverlässigkeitszeitpuffers (Reliability Buffer Time (RBT) nach Furth und Muller, 2006) als Indiz für die Auswirkungen ungewisser Ankunftszeiten auf die Reisenden (z.B. die Variabilität der durchschnittlichen zusätzlichen Reisezeit je Reisenden).

Schweden

Eliasson (2006)

Eliasson verwendete Reisezeitmessungen über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwei Wochen auf 84 Straßenverbindungen im Zentrum von Stockholm. Die Daten wurden in 15-Minuten-Intervalle aufgeteilt. Die relative Standardabweichung (dies ist die Standardabweichung der Reisezeit geteilt durch die Reisezeit) wurde dann in einer Regressionsanalyse berechnet und erklärt. Die wichtigste erklärende Variable ist ein Maß für Staus, nämlich die Reisezeit geteilt durch die free-flow Reisezeit, was dem CI von Arup entspricht. Ebenso wie bei Arup dient auch diese Beziehung dazu, mit einem Verkehrsmodell das Verkehrsstaus vorhersagen kann (also ein dynamisches oder semi-dynamisches Modell mit horizontalen Stausituationen), für den Einsatz in der NKA auch die Veränderungen des Ausmaßes von Unzuverlässigkeit berechnen.

Kristoffersson und Engelson (2008), Kristofferson (2011)

In einem Forschungsprojekt des Zentrums für Verkehrsstudien der KTH Stockholm wurde ein praxisnahes Verkehrsmodell namens SILVESTER entwickelt, das ein Abfahrtszeiten- und Verkehrsträgerwahlmodell (basierend auf den SP/RP-Annahmen von Börjesson, 2008) sowie ein dynamisches Verkehrsfluss- und Vorhersagemodell für die Verkehrszuverlässigkeit einschließt (basierend auf Eliasson, 2006). Das Abfahrtszeiten-Wahlmodell enthält in Verbindung mit Verkehrsflussberechnungen Variablen für die Berücksichtigung von Verspätungen und für die Reisezeit-Standardabweichung (die mithilfe der Regressionen von Eliasson, 2006, vorhergesagt werden können). Das Modell berücksichtigt nur die morgendliche Verkehrsspitze (6.30 - 9.30 Uhr) im Raum Stockholm und wurde eingesetzt zur Untersuchung der Auswirkungen des Stockholmer CityMaut-Systems und vieler alternativer Varianten des Mautsystems. SILVESTER ist eines der sehr wenigen Transportmodelle auf der Welt wo die Q-Seite der Zuverlässigkeit ausgearbeitet ist und wo Zuverlässigkeitsgewinne nicht aus einem Post-Processing-Modul kommen, wie in den meisten hier beschriebene Implementierungen in Großbritannien, den Niederlanden und den USA, sondern im Verhalten der Reisenden im Transportmodell integriert sind. Die Entwicklung eines solchen Modells auf der Ebene von Deutschland würde aber mehrere Jahre dauern (die Entwicklung von SILVESTER, inklusiv Vorarbeiten auf der P-Seite und Q-Seite, hat sechs Jahre gedauert).

Dänemark

Fosgerau und Fukuda (2010)

Fosgerau und Fukuda nutzten die Ergebnisse von Geschwindigkeits- und Verkehrsflussmessungen an einer Straße (Frederikssundvej) mit vier aufeinander folgenden Anschlussstellen und einer Gesamtlänge von 11 km, die das Stadtzentrum von Kopenhagen mit den nordwestlichen Vorstädten verbindet. Die Daten bestehen aus minütigen Ermittlungen der Reisezeiten über fünf Monate hinweg. Berücksichtigt wurde der Werktagsverkehr zwischen 6.00-10.00 Uhr in eine Richtung. Die Verfasser nahmen Modellschätzungen für die mittlere Reisezeit und Zuverlässigkeit vor, bezogen auf den Interquartilsabstand (75.-25. Perzentil) unter Verwendung nichtparametrischer Verfahren. Sie ermittelten, dass die standardisierte Verkehrsverteilung weit von einer Normalverteilung entfernt ist, aber dicht bei einer stabilen

Verteilung liegt. Die letztere Verteilung zeichnet jedoch kein gutes Bild der extremen Verspätungen, die überschätzt werden (ausgeprägtere rechte Extremwerte in der Verteilung als beobachtet). Das ließ sich durch Beschneidung der stabilen Verteilung beheben. Die Verfasser stellten ferner fest, dass die standardisierten Reisezeiten offenbar unabhängig von den Verbindungen für dieselbe Route sind. Aufgrund der Ergebnisse für die Verbindungen wird die Berechnung der Reisezeitverteilung (oder der Zuverlässigkeit) für die Route deutlich einfacher.

USA

TRB SHRP2 (2011)

In den USA führt das Transportation Research Board (TRB) der National Academies seit 2005 das Forschungsprogramm SHRP 2 (Strategic Highway Research Program) für vier Komponenten durch: Sicherheit, Erneuerung, Zuverlässigkeit und Kapazität. Zur Zuverlässigkeitskomponente gehören mehrere Projekte zur Verminderung und Verhinderung einmaliger Staus und zur Entwicklung eines Instruments für die Identifizierung und Evaluierung der Kosten und der Effektivität konstruktiver Maßnahmen (an Autobahnen), die die Reisezeitzuverlässigkeit verbessern. Dieses Instrument wurde bisher noch nicht publiziert. Es wird mehr als 50 Beispiele für konstruktive Maßnahmen enthalten. Im Rahmen von SHRP 2 untersucht L04 die Frage der Einbeziehung von Maßnahmen zur Zuverlässigkeitsverbesserung in operative und planerische Modellierungsinstrumente. Peter Vovsha von Parsons Brinckerhoff ist bei L04 Forschungsleiter. Zur Zuverlässigkeitskomponente von SHRP 2 gehören das Monitoring der Zuverlässigkeit, die Wertbestimmung der Zuverlässigkeit und ein wirtschaftliches Evaluierungsmodell unter Einschluss der Zuverlässigkeit.

Am 15. November 2011 wurde ein Bericht veröffentlicht mit Maßnahmen gegen Staus und zur Verbesserung der Zuverlässigkeit in mehr als 300 Korridoren der großen amerikanischen Metropolregionen. Daran haben Tim Lomax (Texas Transportation Institute) und Rich Margiotta (Cambridge Systematics) gearbeitet. Der Bericht konzentriert sich jedoch auf die Stunden und die zusätzlichen Reisezeiten und bezieht die Zuverlässigkeit nicht in die Nutzen-Kosten-Analyse ein.

Im Rahmen von SHRP untersucht L03 analytische Verfahren zur Bestimmung des Einflusses auf Zuverlässigkeitsstrategien. Bei diesem Projekt wurden Modelle zur Abschätzung der Standardabweichungen von (Relations- oder Abschnitts-)Reisezeiten als Funktion der mittleren Reisezeit entwickelt. Genauer gesagt, haben einige Forscher eine nahezu lineare Abhängigkeit der Standardabweichung von Routenreisezeit und normierter Routenreisezeit nachgewiesen (Routenreisezeit dividiert durch Routenlänge). Mahmassani (2011) illustrierte dies anhand von Netzwerken, zum einem aus dem Raum Washington DC, zum anderen aus der Region Irvine (Kal.) (siehe nachstehende Abbildungen). Lineare Regressionsmodelle wurden an diese Daten angepasst in der Form

$$\sigma = a + b (T / L),$$

wobei σ die Standardabweichung von T/L auf Routenebene (Abschnittsebene) ist, T die Routenreisezeit, L die Reiselänge und a bzw. b die abzuschätzenden Parameter. Die Vorhersagekraft dieser empirisch gefundenen Beziehung, wie in der R²-Statistik beschrieben, war 0,6663.

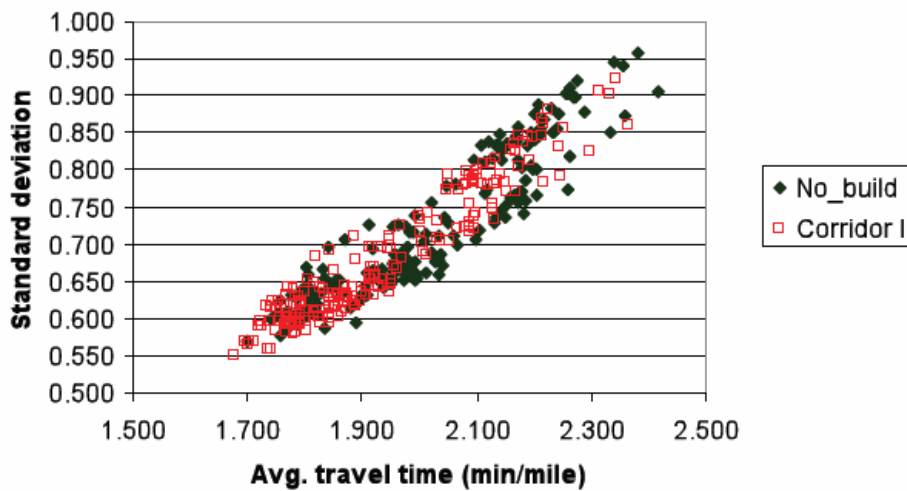


Abbildung 6: Daten aus Washington DC, Standardabweichung und normierte Abschnittsreisezeit

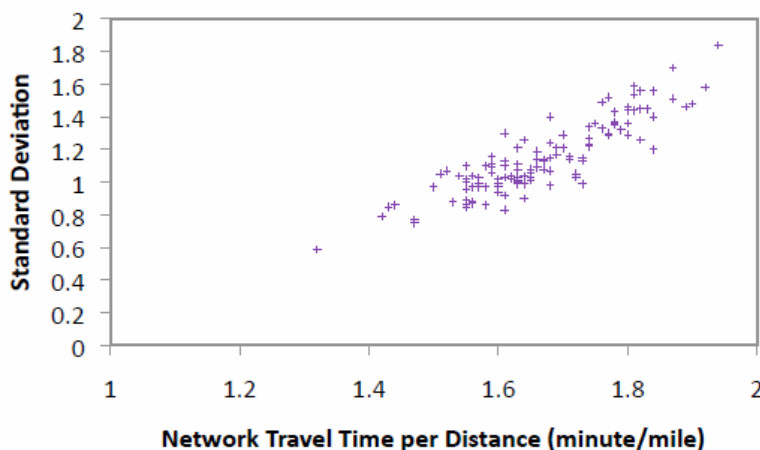


Abbildung 7: Daten aus Irvine (Kal.), Standardabweichung und normierte Netzwerkreisezeit

In der Studie SHRP 2/L03 wurde ermittelt, dass einerseits zwischen (typischerweise täglich) wiederkehrenden Staus und andererseits einmaligen Staus infolge von Unfällen, Wetter- und Sonderereignissen unterschieden werden muss. Das wurde gemacht weil Verkehrsmodelle natürlich nur Ergebnisse liefern für reguläre Zustände, d.h. die wiederkehrenden Staus, für die sie geeicht wurden. Aber man möchte auch andere, einmalige Staus mit einbeziehen and dazu wird die reguläre Unzuverlässigkeit erhöht mittels eine empirische Gleichung (siehe unten).

Also, zuerst sei der Reisezeitindex definiert als

$$TI_i = T_i / T_i^0,$$

wobei TI_i der Reisezeitindex für Tag i und für eine bestimmte Route und Abfahrtszeit ist, T_i die Reisezeit und T_i^0 die Free-Flow-Reisezeit. TI bezeichnet den mittleren Reisezeitindex für alle Tage.

Zweitens wurde die folgende empirische Beziehung angesetzt, die den Index für die wiederkehrende Reisezeit in den allgemeinen Reisezeitindex TI^{all} (für wiederkehrende und einmalige Ereignisse) umrechnet:

$$TI^{all} = 1.0274 TI^{1.2204} .$$

In anderen Worten, die Verfasser bestimmen die einmaligen Reisezeitverlängerungen als Aufschlag auf die wiederkehrenden Reisezeitverlängerungen. In einem weiteren Schritt wurde eine weitere empirische Beziehung ermittelt, die das Verhältnis zwischen der Standardabweichung σ und einer Route mit allgemeinem Reisezeitindex ausdrückt:

$$\sigma = 0.6182 (TI^{all} - 1)^{0.5404} .$$

In der in Kapitel 9 vorgeschlagenen Methodik gibt es diese Umrechnung nicht. Wir schlagen vor um Unfälle, Bauarbeiten und schlechtes Wetter direkt in der Standardabweichung mit ein zu beziehen und um nur die Ausreißern (Sonderereignisse, Kalamitäten) zu entfernen. In dieser Hinsicht folgen wir den Empfehlungen der Experten (vor allem aus Großbritannien), reguläre Ereignisse nicht von irregulären Ereignissen, wie Unfälle zu trennen (siehe Annex 6).

Washington State Department of Transportation (2010)

Das Washington State DOT hat sich sehr intensiv um Rechenschaftslegung bemüht: Die Öffentlichkeit sollte erfahren, woran gearbeitet wird und was die Systemleistungen der staatlichen Autobahnen sind. Im jährlichen Staubericht werden Messungen von Staus und Reisezeiten wiedergegeben, ebenso die Reisezeitenzuverlässigkeit. Letztere wurde gemessen als 95. Perzentil der Reisezeit (aber auch das 50., 80. und 90. Perzentil werden angegeben). Damit ist es Pendlern möglich einzuplanen, wie viel Zeit für eine Fahrt erforderlich ist (in Minuten), um durchschnittlich an 19 Tagen des Monats pünktlich am Ziel zu sein (Zuspätkommen einmal alle 20 Tage). Der Bericht bietet Angaben zu 38 stark gefragten Pendler Routen in der Morgen- und Abendspitze, die über Autobahnen führen. Eine Auswahl von Echtzeitdaten ist online verfügbar. (siehe www.wsdot.wa.gov/accountability) .

6.3 Folgen von Maßnahmen auf Zuverlässigkeit

Großbritannien

Hollander und Buckmaster (2009) stellen ein praktikables Verkehrsmodell für den Busverkehr vor, das die Zuverlässigkeit der Busreisezeiten berücksichtigt. Die Zuverlässigkeit, gemessen als Standardabweichung, nahm ab infolge geographischer und nachfragebezogener Faktoren mit großer ungeklärter Varianz. Dennoch konnte eine Reihe wichtiger Faktoren benannt werden (z.B. Abschnittslänge, Busvorrang, Stoßzeiten), die pragmatisch verwendet wurden. Festgestellt werden konnte, dass Vorrangmaßnahmen für Busse durchschnittlich zu einer 15%-igen Verminderung der Reisezeit-Standardabweichung führen. Dies wurde dann als allgemeine

Auswirkung der Vorrangmaßnahmen für Busse angesehen. Ein weiteres Beispiel ist, dass die strenge physische Trennung des Busverkehrs vom allgemeinen Verkehr die Zuverlässigkeit um 50% erhöhen würde.

Mott MacDonald (2009) analysierte die Auswirkungen des Seitenstreifens an der Autobahn M42 in Bezug auf die tagtägliche Variabilität der Verspätungen. Die Ergebnisse sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Die Linie D3M No HS gibt die normale Beziehung zwischen Standardabweichung und mittlerer Verspätung an, während die Linie D3M ATM die Verhältnisse bei aktivem Verkehrsmanagement mit Seitenstreifen und Geschwindigkeitsbeschränkung wiedergibt. Zu beachten ist, dass die mittlere Verspätung (infolge Geschwindigkeitsbeschränkung) wächst, während die Standardabweichung abnimmt.

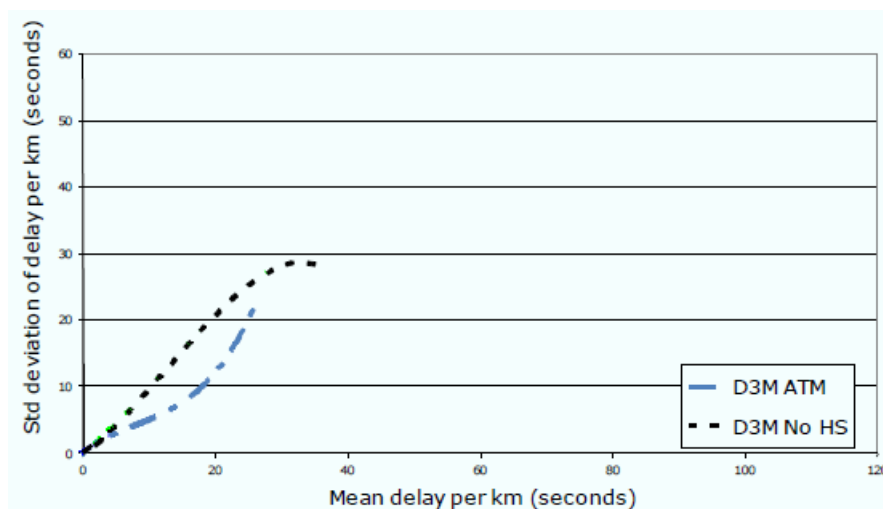


Abbildung 8: Tagtägliche Variabilität der Verspätungen auf der Autobahn M42 (GB)

Niederlande

Palsdottir (2011) untersuchte fünf Maßnahmen, die gegenwärtig auf niederländischen Straßen eingeführt werden:

- Stauspur auf der Autobahn A13
- neue Zusatzspur auf der Autobahn A4
- Geschwindigkeitsbeschränkung auf der Autobahn A10
- dynamische Routeninformationstafeln (DRIPs) auf der Autobahn A12
- Zufahrtsregelung auf der Autobahn A10.

Die Auswirkungen dieser Maßnahmen wurden untersucht, indem die Daten der automatischen Messstellen für Geschwindigkeit und Verkehrsstärke in vergleichbaren Jahreszeiten vor und nach der Einführung verglichen wurden (Vorher/Nachher-Studie). Zu den untersuchten Einflüssen gehören:

- Relationskapazität

- Geschwindigkeit
- Zuverlässigkeit.

Mehrere mit der Zuverlässigkeit in Verbindung stehende Indikatoren wurden verwendet (Definitionen siehe Sachstandbericht 1):

- Standardabweichung der Reisezeitverteilung
- Pufferindex
- Breite der Reisezeitverteilung
- Schiefe der Reisezeitverteilung
- Elendsindex
- Planungs-Zeitindex.

Die Ergebnisse hängen von der örtlichen Situation (Straßengeometrie, Verkehrslage) und den speziellen Maßnahmen ab. Herausgefunden wurde, dass Maßnahmen zur Reduktion der Durchschnittsgeschwindigkeit (Geschwindigkeitsbeschränkung auf der A10) die Zuverlässigkeit erhöhen können, zumindest zu bestimmten Tageszeiten, während die Zufahrtsregelung gegenteilige Wirkungen zeitigt (kürzere mittlere Reisezeiten, aber größere Unzuverlässigkeit). Bei solchen Maßnahmen wäre es keine gute Idee, die Zuverlässigkeit in die Nutzen-Kosten-Analyse als festen proportionalen Aufschlag auf die Reisezeitgewinne einzubeziehen. Für andere Maßnahmen (neue Zusatzspur, Stauspur, DRIPS) geben die Ergebnisse für die mittlere Reisezeit und für die Unzuverlässigkeit meist (nicht immer) den gleichen Trend an.

Die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit waren auch nicht bei allen Maßnahmen gleich, auch nicht in Bezug auf die Trends. Die einzelnen Indikatoren deuten auf unterschiedliche Entwicklungen hin, kein Einzelindikator ist optimal. Für eine geeignete Einbeziehung der Zuverlässigkeitseffekte könnte es notwendig sein, sowohl das Streumaß als auch die Schiefe der Reisezeitverteilung zu berücksichtigen. In Kapitel 9 (Empfehlungen) haben wir uns dazu aber nicht entschlossen weil dies die Transportmodelle und die SP-Erhebungen beträchtlich komplizieren würde

In einer Studie von Van Oort (2011) zur Verbesserung der Servicezuverlässigkeit durch bessere Gestaltung von Netzwerk und Fahrplan wurden im Anschluss an eine Ursachenanalyse zur Servicevariabilität fünf Planungsinstrumente gewählt. Die externen Hauptursachen sind Witterung, anderer Verkehr, ordnungswidrige Ladungen und das Verhalten der Reisenden. Wichtige interne Ursachen für die Unzuverlässigkeit sind anderer öffentlicher Verkehr, Fahrerverhalten, Fahrplanqualität, Netzwerk und Fahrzeuggestaltung.

Auf strategischer Ebene wurden folgende Instrumente geprüft:

Bahnhofgestaltung
 Linienlänge
 Linienkoordinierung.

Folgende Instrumente können auf taktischer Ebene eingesetzt werden:

Fahrtzeitenfestlegung
Fahrzeughaltung.

Das Instrument Bahnhofsgestaltung betrifft (neue) Schienenverbindungen mit Kopfbahnhöfen [tail tracks terminal] oder Spitzkehren [short-turning facilities]. Für hochfrequent betriebene Linien werden kompakte Kopfgleise mit doppelten Überführungen unmittelbar hinter der Haltestelle empfohlen. In Bezug auf (neue) Linien wird bei einem deutlichen Umschlagpunkt der Reisendenstruktur empfohlen, die Linie aufzuspalten oder neue Haltestellen einzurichten. Für Langstreckendienste schlägt der Verfasser die Verwendung des 35. Perzentilwerts bei der Fahrzeitenplanung vor. Und wenn Fahrzeuge auf bestimmten Linienabschnitten stark überfüllt sind, wird vorgeschlagen, die Möglichkeiten einer Koordinierung zu prüfen.

Es wurde nachgewiesen, dass die Kosten der Instrumente im Verhältnis zum Wohlstandsgewinn begrenzt sind. Der Verfasser veranschlagt für die Kosten der Unzuverlässigkeit in Den Haag € 12 Millionen pro Jahr und die möglichen Einsparungen bei Anwendung der fünf Planungsinstrumente mit € 8 Millionen pro Jahr. Hinsichtlich der Kosten der Instrumente wird angenommen, dass sie nur einen Teil des Nutzens ausmachen, bei einem Maximum von € 3 Millionen pro Jahr. Das beweist den Mehrwert der Instrumente. Die Ergebnisse eines internationalen Vergleichs zeigen, dass auch in anderen Städten ähnliche Ergebnisse erzielt werden können.

Die Ergebnisse der Studie wurden unmittelbar in die Praxis umgesetzt. In den Niederlanden wird die Servicezuverlässigkeit nicht explizit in die Nutzen-Kosten-Analyse einbezogen, obwohl die verbesserte Servicezuverlässigkeit oft eine der Hauptleistungen der öffentlichen Verkehrsprojekte ist. In einem aktuellen Fall – der Ersatz einer Buslinie durch eine Straßenbahnlinie in Utrecht – zeigte sich, dass Van Oorts Rahmenkonzept zur Nutzenberechnung der Servicezuverlässigkeit wertvoll ist und sofort in die Praxis umgesetzt werden kann. Bei der Berechnung des erheblichen Nutzens durch die bessere Servicezuverlässigkeit der vorgeschlagenen Straßenbahnlinie war das Nutzen-Kosten-Verhältnis so positiv, dass das niederländische Ministerium für Infrastruktur und Umwelt sich zur Förderung des Projekts mit € 110 Millionen entschloss.

Schweden

Bei einer Nutzen-Kosten-Analyse in Stockholm, bei der zwei alternative Straßenführungen untersucht wurden, wurden die Zuverlässigkeitsvorteile in die Berechnungen einbezogen (siehe Transek 2006). Die Einbeziehung der Zuverlässigkeit steigerte den Benutzernutzen um rund 12-13 Prozent (siehe auch OECD 2010, und nachstehende Abbildung).

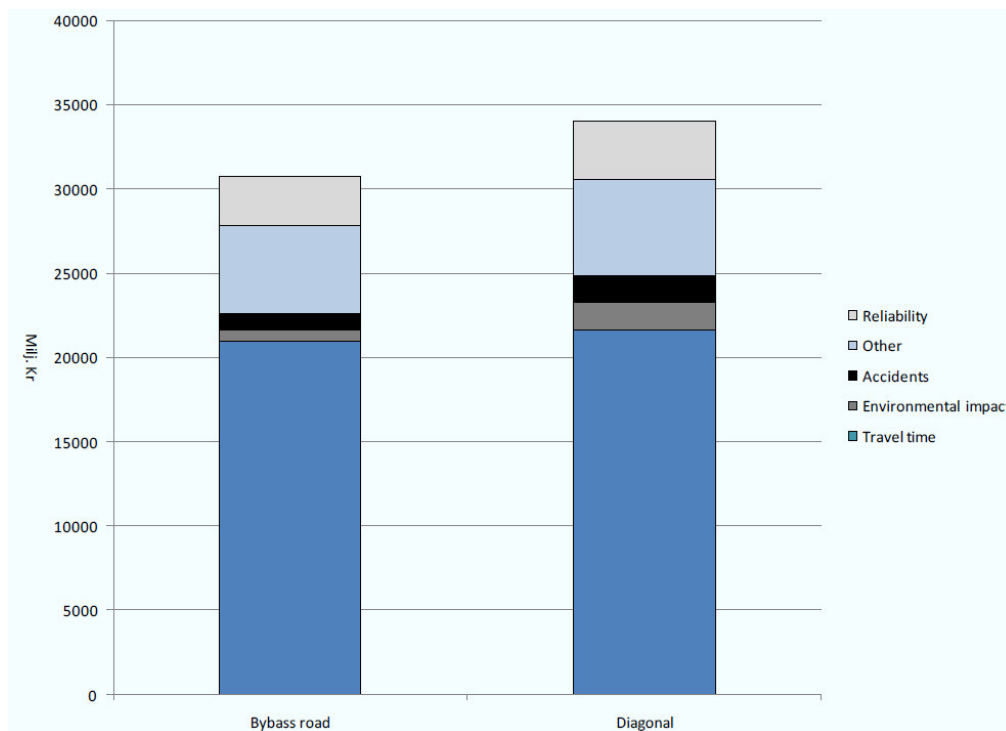


Abbildung 9: Nutzen zweier Alternativen in Stockholm, einschließlich Zuverlässigkeiten

USA

In den USA bezieht die Zuverlässigkeitskomponente von SHRP 2 ein Projekt mit ein, das ein Instrument zur Ermittlung und Evaluierung der Kosten und der Effektivität konstruktiver Maßnahmen (an Autobahnen) entwickeln und die Reisezeitzuverlässigkeit steigern soll. Das Instrument wurde noch nicht publiziert. Es wird mehr als 50 Beispiele für konstruktive Maßnahmen umfassen.

6.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die "Q-Seite" der Zuverlässigkeit ist bisher nur zu einem geringeren Grad untersucht worden. So gut wie alle Studien zur Q-Seite, beziehen sich auf den Straßenverkehr und haben versucht, die Standardabweichung der Fahrzeit auf der Autobahn anhand der Reisezeit, der inversen Geschwindigkeit, Staus oder des Verkehrsflusses zu erklären. Die dafür verwendeten Daten waren automatische Geschwindigkeits- und Verkehrsflussmessungen von Induktionsschleifen oder GPS-Daten. Für den Schienenverkehr und die Binnenschifffahrt konnten wir nur sehr wenige Studien über die Q-Seite der Zuverlässigkeit identifizieren.

Die bestehenden Schwankungen der Reisezeit werden verursacht durch Variationen der Nachfrage in Bezug auf die Tageszeit, den Wochentag, die Jahreszeit, das Wetter, Baustellen und andere Arbeiten, Unfälle, extreme Ereignisse und Katastrophen. Wir empfehlen, die beiden letztgenannten Einflüsse von der Operationalisierung der Zuverlässigkeit auszunehmen, aber

sämtliche Schwankungen, die die Reisenden und Speditionen wissen (erwarten) können, in die erwarteten Zeitgewinne aufzunehmen und die verbleibende unbekannte Variation in die Zuverlässigkeitsgewinne aufzunehmen.

7. Expertenrunde 1: Definition, Bewertung und Transportmodellen

Wir haben die von uns ausgewählten Experten in der ersten Emailrunde zum einen um Hinweise auf zusätzliche Literaturquellen gebeten. Zum anderen haben wir sie gefragt wie sie Zuverlässigkeit definieren, messen, bewerten (hier nutzten wir keine Stated-Preference-Erhebung, sondern fragten die Experten, welche Methode sie empfehlen würden, um Zuverlässigkeit zu bewerten) und vorhersagen würden. In diesem Kapitel präsentieren wir die wichtigste Ergebnisse dieser ersten Email-Befragungsrunde (siehe auch Annex 3 bezüglich der Fragen bzw. 4 bezüglich der gesendeten Antworten).

7.1 Definition von Zuverlässigkeit

Frage 3: Welche Definition von Zuverlässigkeit ist Ihrer Meinung nach am besten geeignet, um das Konzept von Zuverlässigkeit in Nutzen-Kosten-Analysen (NKA) zu integrieren (z.B. Standardabweichung von der Reisedauer-Verteilung, Verspätungen laut Fahrplan, Perzentile, Pufferzeit-index, ...)?

Die Antworten zu dieser Frage sind in Tabelle 5 zusammengefasst. In den folgenden Fällen haben die genannten Experten eine gesammelte Antwort für ihre jeweilige Institution verfasst:

- ITS: Richard Batley, Mark Wardman und Tony Fowkes (letzterer hat zudem separate Antworten bezüglich Güterverkehr gegeben)
- KTH: Joel Franklin, Jonas Eliasson, Maria Börjesson, Leonid Engelson und Anders Karlström
- VU: Paul Koster, Erik Verhoef, Piet Rietveld und Stefanie Peer
- TOI: Askill Halse und Farideh Ramjerdi
- Lomax: Tim Lomax (Texas A&M University) und Rich Margiotta (Cambridge Systematics).

Tabelle 9. Interviewergebnisse bezüglich der am besten geeigneten Definition von Zuverlässigkeit zur Nutzung in NKA

Standardabweichung	Varianz	Schedule-Delay	Sonstige
Bates (momentan)	Fosgerau	Hensher	
TOI (in den meisten Fällen)	Nagel	TOI (für Staugebühren)	Geistefeldt: Puffer-Index
Hollander (jedoch Umwandlung zu durchschnittliche Frühzeitigkeit und Verspätung für NKA)		Hao Li	ITS: Verspätung laut Fahrplan für ÖPNV
ITS: Strasse		Ortuzar (Idealfall)	Janssen: Verspätung laut Fahrplan für Züge
KTH (Auto)		VU (Idealfall)	KTH: (Wahrscheinlichkeit der Verspätung) * (Verspätungsdauer) (für geplante Verkehre)
Ortuzar (kurzfristig)			Lomax: Puffer-Index oder Fahrplanabfahrtzeit index
Swahn (für NKA, jedoch nicht für Verkehrsnutzer)			Tavasszy: Verteilung der Extreme
Van Vuren (oder Variationskoeffizient)			Vovsha: wahrgenommene Autobahnzeit oder Puffer-Zeit
Vovsha (oder Pufferzeit oder subjektiv wahrgenommene Reisezeit)			VU: Durchschnittliche Reiseverspätung
Warffemius			

Argumente für Standardabweichung	Argumente für Varianz	Argumente für Schedule-Delay	Argumente für Sonstige
Indirekte theoretische Basis für fahrplanlose Verkehrsträger (Fosgerau, Warffemius, VU)	Indirekte theoretische Basis auch für Verkehrsträger mit Fahrlan (Fosgerau, Warffemius, KTH, VU)	Direkte theoretische Basis (Fosgerau, Warffemius, VU, Vovsha)	Puffer-Index direkt wahrgenommen durch Verkehrsteilnehmer (Geistefeldt, Lomax)
Kann empirisch gemessen werden (Bates, Warffemius)	Kann empirisch gemessen werden (Bates, Warffemius)	Erfasst asymmetrische Kosten des zu früh und zu spät seins (Hensher)	Durchschnittliche Verspätung ist empirisch stark mit der Standardabweichung korreliert; Kann auf theoretische Konzepte und Netzwerkmodelle zurückgreifen (VU)
Relativ einfach in gewöhnliche Verkehrsmodelle integrierbar (Warffemius, TOI, VU)	Relativ einfach in gewöhnliche Verkehrsmodelle integrierbar (Warffemius, Nagel, VU)	Genereller einsetzbar (Hao Li)	
Bevorzugte Ankunftszeiten (PATs) nicht notwendig (Warffemius, Vovsha, ITS)	PATs nicht notwendig (Warffemius, Vovsha, ITS)		
Gute Übereinstimmung mit SP-Daten (KTH)	Unabhängig von anderen Aspekten der Reisedauerverteilung (Fosgerau)		
Erfasst Restwerte, z.B. Angst (VU)	Erfasst Restwerte, z.B. Angst (VU)		
Mean-Dispersion-Modell ist der natürliche Weg Verteilungen zusammenzufassen (ITS)	Mean-Dispersion-Modell ist der natürliche Weg Verteilungen zusammenzufassen (ITS)		
	Summierbar über alle Netzwerkabschnitte, wenn unabhängig (Fosgerau, KTH, VU)		

Argumente gegen Standardabweichung	Argumente gegen Varianz	Argumente gegen Schedule-Delay	Argumente gegen sonstige
Kein Unterschied zwischen zu früh und zu spät seins (Lomax)	Kein Unterschied zwischen zu früh und zu spät seins (Lomax)	Empirisch kaum messbar (Bates, Vovsha)	
Weniger verallgemeinert (Hao Li)	Weniger verallgemeinert (Hao Li)	Schwer in Standard-Verkehrsmodelle zu integrieren die keine Abfahrtszeitwahlmodell haben (Warffemius, TOI, VU, Vovsha)	
Abhängig von anderen Aspekten der Reisezeitverteilung (Fosgerau)	Kaum Übereinstimmung mit SP-Daten (KTH)	Sehr schwierig PATs zu ermitteln (Warffemius, Vovsha, ITS)	
Nicht summierbar über mehrere Netzwerkabschnitte (Fosgerau, KTH)	Verbindungen sind nicht unabhängig, weshalb die Varianzen der einzelnen Strecken nicht die Gesamtsumme aller Netzwerkabschnitte ergeben (Nagel)	Erfasst Restwerte, z.B. Angst (VU)	
Kann asymmetrische Häufigkeitsverteilungen nicht unterschieden darstellen (Tavasszy)	Kann asymmetrische Häufigkeitsverteilungen nicht unterschieden darstellen (Tavasszy)		

Unsere Ergebnisse zeigen, dass gemessen an der Anzahl der Experten die eine bestimmte Definition von Zuverlässigkeit zur Anwendung in NKA bevorzugen, die Standardabweichung der klare Favorit unter den Zuverlässigkeitsindikatoren ist. Zwei Experten bevorzugen die Varianz gegenüber der Standardabweichung, insbesondere weil die Varianzen verschiedener Verbindungen in einem Netzwerk aufaddiert werden können (solange die Verbindungen unabhängig voneinander sind). Wir werden auf die Additivität in Netzwerken ausführlicher eingehen, wenn wir die Antworten zu Frage 5 diskutieren. Zwei der fünf Gegner des Scheduling-Modells (dritte Spalte) erwähnten, dass diese in Deutschland nur langfristig aufgebaut werden können, und dass sie diese nicht empfehlen für den BVWP 2015. In Bezug auf die sonstigen Indikatoren (letzte Spalte) wurde der Zeitpuffer-Index drei Mal erwähnt und Verspätungsindikatoren (solche die unabhängig von der bevorzugten Ankunftszeit sind, ähnlich dem Fahrplanmodell) vier Mal (insbesondere für ÖPNV). Insgesamt finden wir eine klare Präferenz für (Durchschnitts-) Abweichungsmodelle (Standardabweichung, Varianz, Puffer-Index).

Tabelle 9 illustriert zudem die Gründe für bzw. gegen die Anwendung bestimmter Zuverlässigkeitsindikatoren (in den Augen der Experten). Die Gründe die für die Anwendung der Standardabweichung (oder anderer Abweichungsindikatoren, wie Varianz oder Pufferzeit) sprechen, sind vornehmlich pragmatischer Natur: sie können ersten empirisch mit Hilfe von Verkehrsdaten (Reisezeit usw.) gemessen werden, sie bedingen zweitens keine Festlegung oder Annahmen bezüglich der bevorzugten Ankunftszeit und sind drittens gewöhnlich in hoher Übereinstimmung mit SP-Daten. Jedoch werden fundamentalere Argumente für die Anwendung von Standardabweichung und Varianz angegeben: zum einen gibt es seine indirekte theoretische Fundierung für beide Indikatoren, da die Äquivalenz zu Scheduling-Modellen gegeben ist und sowohl Durchschnitt als auch Standardabweichung stellen den natürlichen Weg dar um Häufigkeitsverteilungen der Reisezeiten darzustellen.

Zudem berücksichtigen Scheduling-Modelle außer den Konsequenzen von zu früh oder zu spät sein keine sonstigen Kosten von Unzuverlässigkeit (wie z.B. Ängste, Stress, Umplanungskosten). Zwar können Standardabweichungen für asymmetrische Verteilungen benutzt werden, bei der Nutzung der Standardabweichung zur Projektbewertung kann dann aber kein Unterschied mehr gemacht werden zwischen "zu früh und zu spät sein" Observationen zu unterscheiden.

Tabelle 9 bezieht sich sowohl auf Passagier- als auch auf Güterverkehr. Einige der Experten haben sich zudem spezifisch zum Güterverkehr geäußert, insbesondere im Hinblick auf Frage 3, wie in Tabelle 10 zu sehen ist. Einer der Experten merkte an, dass die Standardabweichung die beste Wahl sei, zusammen mit der Differenz/Spanneder Reisezeitverteilung von 0% bis 98% (also ohne extrem lange Reisezeiten was zu robusteren Ergebnissen führt). Ein weiterer Experte schlug vor, das Produkt der Verspätungswahrscheinlichkeit und der Verspätungsdauer für Güterverkehre zu benutzen. Varianzindikatoren oder Fahrplanverspätungen wurden hingegen nicht spezifisch zur Anwendung bei Fragestellungen des Güterverkehrs empfohlen.

Tabelle 10. Interviewergebnisse bezüglich der am besten geeigneten Definition von Zuverlässigkeit zur Nutzung in NKA : spezifische Kommentare zum Güterverkehr

Standardabweichung	Varianz	Schedule-Delay	Sonstige
Fowkes: für Güterverkehre genauso gut wie Differenz bzw. Spanne			Fowkes: Spanne von 0% zu 98%
			Vierth: (Wahrscheinlichkeit der Verspätung) * (Verspätungsdauer) (für regelmäßige Verkehre)

7.2 Bewertung von Zuverlässigkeit

Frage 4: Das BMVBS plant einige Studien zur Monetarisierung (Wert) von Zeit und Zuverlässigkeit im Verkehr in Auftrag zu geben (bzw. selbst durchzuführen). Welche sind Ihrer Meinung nach die am besten geeigneten Methoden, um Zuverlässigkeit im Verkehrskontext zu bewerten (z.B. Stated-Preference-Umfragen oder ähnliches; wenn SP, was wäre ein geeignetes Präsentationsformat für die Befragung im Hinblick auf Zuverlässigkeit, was wären geeignete Modellspezifikationen um die Daten zu messen/schätzen)?

Tabelle 11 zeigt die erhaltenen Antworten zu Frage 4. Fast alle Experten stimmen darin überein, dass obwohl RP Daten potentiell die ideale Informationsbasis zur Bewertung/Monetarisierung von Zuverlässigkeit wären, letztendlich SP-Daten (oder eine Kombination aus SP und RP Daten) die einzig pragmatisch sinnvolle Lösung darstellen. Einer der Experten schlug vor experimentelle Ökonomik heranzuziehen. Diese sei mit Stated-Preference-Konzepten eng verbunden, und würde zudem Anreizmechanismen nutzen, um ein bestimmtes Verhalten (z.B. Optimierung) zu induzieren, was jedoch auch Interaktionen zwischen den Befragten zur Folge haben kann. Eine hier relevante Variante der experimentellen Ökonomik für dieses Problem könnte die der Auswahl zwischen verschiedenen Lotterien sein, wobei sich Aufschlüsse über das Risikoprofil der Befragten sammeln ließen.

In Bezug auf die Präsentation von Unzuverlässigkeit in SP Umfragen haben viele der befragten Experten empfohlen eine Serie von möglichen Reisezeiten (am meisten wurde die Option von 5 verschiedenen Optionen genannt) innerhalb jeder Entscheidungsalternative anzubieten, und dabei jede Reisezeit mit der gleichen oder mit verschiedenen spezifischen Wahrscheinlichkeiten zu versehen. Von diesen Daten könnte dann sowohl der Wert der Standardabweichung als auch der Varianz (und prinzipiell auch des Puffer-Indexes) geschätzt werden. In diesem Datenformat könnten zudem problemlos Abfahrts- und Ankunftszeiten hinzugefügt werden, die mit den verschiedenen Reisezeitoptionen korrespondieren würden. Im Ergebnis würde dieses Konstrukt die Schätzung von Scheduling-Modellen erlauben, aber auf der anderen Seite auch die Auswahlkomplexität der Befragten erhöhen. Eine andere Möglichkeit, die ebenfalls von verschiedenen Experten genannt wurde, ist die Befragten mit Wahrscheinlichkeiten von Verspätungen verschiedener Dauer zu konfrontieren. Diese Methode erschwert jedoch die Schätzung von Durchschnittsabweichungs-Modellen (aufgrund der Tatsache, dass dazu viele zusätzliche Annahmen getroffen werden müssen).

Die Empfehlungen der Experten bezüglich des Modeltyps zur Bewertung der Zuverlässigkeit beinhalten zwei Stimmen für ein Mean-Dispersion-Modell, eine Stimme für ein Scheduling-Modell und eine Stimme für ein Modell mit Planung und zusätzlichen Abweichungsvariablen. Zudem wurden eine Reihe von Risiken aufgezeigt: Aufgrund dessen sollte das angewendete Modell die Verlustabneigung (Risikoaversion) der Befragten berücksichtigen (gemäß der "Prospect theory" haben Verluste ein höheres Gewicht als mögliche Gewinne), sollten beobachtete und unbeobachtete Unterschiedlichkeit der Befragten sowie die Möglichkeit des nicht Vorkommens bestimmter Einstellungen, sowie nichtlineare Verläufe der Ergebnisse und Unterschiede in den Risikoeinstellungen der Befragten einkalkulieren.

Tabelle 11. Empfehlungen der Experten zur Identifizierung von Zuverlässigkeitsindikatoren (Namen der interviewten Experten in Klammern)

Datentyp	Präsentationsformat in SP	Modell
SP ist am besten geeignet; es ist extreme schwierig Wiederholungen zu berücksichtigen wenn man ausschliesslich RP benutzt (Hensher)	Serien von Reisezeiten (zu früh, pünktlich und zu spät) und ihrer Wahrscheinlichkeiten (Hensher)	Nichtlineare Nutzen könnte Berücksichtigung finden (kein risikoneutrales Verhalten) (Hensher)
SP (Warffemius, Tavasszy, Nagel, ITS, Lomax)	Verbale/numerische Präsentation einer Serie von Reisezeiten, eventuell mit Abfahrts- und/oder Ankunftszeiten (Warffemius, TOI, KTH für PKW, VU)	Berücksichtigt Verlustabneigung (Risikoaversion) und andere Verzerrungen/Voreingenommenheiten (Fosgerau)
SP und wenn möglich auch RP (TOI)	Präsentation der Wahrscheinlichkeit (z.B. einmal alle 2 Wochen) und Dauer der Verspätung für geplante Verkehre; dabei sollte der Kontext in dem die Auswahlentscheidung getroffen wird klar gemacht werden: z.B. vor oder während der Fahrt (KTH)	Nutzenfunktion des Fahrplans mit zusätzlicher Standardabweichung (Hao Li)
SP für Personenverkehr; eventuell nicht für Geschäftsreisen (Bates)	Präsentation von sowohl der gewöhnlichen Reisezeit und zusätzlich einer (längeren) Reisezeit welche einmal pro Woche vorkommt, eventuell mit Ankunftszeiten (Ortuzar)	Nutzenfunktion mit Reisezeit und Varianz oder Standardabweichung (Warffemius)
Idealerweise RP, jedoch SP oder Kombination von SP/RP aus Kostengründen (Hao Li)	X Minuten verspätet in 1 von 10 Fällen (Nagel)	Modelle welche unbeobachtete und beobachtete Unterschiedlichkeit sowie das Nichterscheinen von Attributen berücksichtigen (TOI)
RP attraktiv aber parktische Probleme; SP (KTH)	Verbale/numerische Präsentation einer Serie von Reisezeiten, eventuell mit Abfahrts- und/oder Ankunftszeiten; oder Reisezeit und Spanne von Ankunftszeiten (VU)	Flexible Modelle die verschiedene Ausprägungen von Risikobereitschaften erlauben (Tavasszy)

Datentyp	Präsentationsformat in SP	Modell
SP oder RP/SP (Ortuzar, Janssen, VU)	Zahlungsbereitschaft für Fahrt mit grosser Sicherheit versus Fahrt mit geringer Sicherheit (Lomax)	Berücksichtigt "latent variable model" (Ortuzar)
SP/RP (Vovsha)	Wahrscheinlichkeit einer gewissen Verspätungsdauer oder Serie verschiedener Reisezeiten (Vovsha)	Nutzenfunktion des Scheduling-Modells; nicht-lineares Planen von "zu spät sein" eventuell sinnvoll; kann in Varianz umgewandelt werden (Nagel)
Experimentelle Ökonomik mit Risikopräferenzen (Fosgerau)		Starte einfach: Stau-Ausmass, Standardabweichung oder Pufferzeit (Vovsha)
Qualitative Interviews und Fokusgruppen (Hollander)		

Tabelle 11 bezieht sich auf Personen- und Güterverkehr. Tabelle 12 hingegen fasst die spezifischen Kommentare zusammen, die sich ausschließlich auf Güterverkehr beziehen und als Antworten auf Frage 4 gegeben wurden. Interessanterweise wurden keine spezifischen Empfehlungen bezüglich des Präsentationsformates in SP Umfragen oder der Modellspezifikationen zur Bewertung von Zuverlässigkeit im Güterverkehr ausgesprochen. Bezüglich der Daten die mit SP Umfragen erhoben werden, haben zwei Experten angemerkt, dass die Durchführung von SP Umfragen, die zu brauchbaren Ergebnissen führen sollen im Güterverkehr schwieriger ist als im Personenverkehr. Ein Experte war sich nicht einmal sicher, ob SP überhaupt sinnvoll in Güterverkehrsstudien einsetzbar ist und ein anderer Experte betonte, dass SP eher bei Befragungen von Spediteuren (shippers) als bei Transportunternehmen sinnvoll durchführbar sei. Sollte SP im bei Transportunternehmen eingesetzt werden, dann sei darauf wert zu legen, dass den Befragten klar ist, dass sie sich auf Trade-offs bezüglich der Betriebskosten konzentrieren und nicht zu sehr darauf, was mit der Fracht passiert.

Als Alternativen zu SP nannten die Experten Studien bezüglich tatsächlicher Routenentscheidungen im Güterverkehr, Kombinationen aus SP und RP Daten sowie die Anwendung logistischer Kostenfunktionen (inklusive Transportkosten, Bestellkosten, Abschreibungskosten, Lagerkosten usw.). Ein Beispiel für letzteres ist die klassische Losformel (economic order quantity model) aus der Volkswirtschaftslehre. All diese Modelle haben gemein, dass sie versuchen Parameter anhand empirischer Daten zu schätzen, und zudem zu ergründen inwieweit Änderungen der Reisezeitenzuverlässigkeit sich auf die ermittelten Parameter auswirken (und vice versa).

Tabelle 12. Empfehlungen der Experten zur Identifizierung von Zuverlässigkeitsindikatoren im Güterverkehr (Name des Experten in Klammern).

Datentyp	Präsentationsformat in SP	Modell
SP, eventuell zusätzlich RP Daten in Bezug auf Routenentscheidungen im Güterverkehr (Lomax)		
SP, Nutzung anpassbarer Techniken (Fowkes)		
SP für Spediteure, eventuell auch für Transportunternehmen (mit Fokus auf Betriebskosten) (TOI)		
Eventuell SP für Güterverkehr oder einzelne Fahrten ungeeignet (Bates)		
SP schwieriger in Güterverkehrsstudien, Kombination von (interaktiven) SP und RP Umfragen sowie analytischen Methoden eventuell sinnvoller (Swahn, Vierth)		

7.3 Zuverlässigkeit in Transportmodellen

Frage 5: “Was ist Ihrer Meinung nach die beste Methode Zuverlässigkeitsindikatoren in Verkehrsprognosemodelle zu integrieren?”

Tabelle 13 illustriert die Empfehlungen der Experten bezüglich der Nachfrageseite, insbesondere wie Zuverlässigkeit als Einflussfaktor in Transportmodelle aufgenommen werden kann und wie Zuverlässigkeit zudem prognostiziert werden kann. Der Großteil der Antworten bezieht sich auf den Straßenverkehr, was daran liegt, dass für die anderen Verkehrsträger kaum Forschungsergebnisse bezüglich der Nachfrageseite vorliegen. Die meisten der von uns befragten Experten empfehlen, dass die Kosten resultierend aus Unzuverlässigkeit (unabhängig davon wie sie gemessen werden, siehe Tabelle 5) in Verkehrsmodellen als Teil der Netzwerkkosten zur Routebestimmung in der Verkehrsumlegung herangezogen werden sollten. Dieses kann relativ einfach umgesetzt werden, indem man die Ergebnisse der SP Umfragen bezüglich der relativen Wichtigkeit von Zuverlässigkeit mit Reisezeiten und Kosten vergleicht. Alternativ könnten dynamische Zuordnungen genutzt oder verschiedene Nutzersegmente eines Verkehrssystems herausgefiltert werden, die dann spezifische generalisierte Kostenfunktionskoeffizienten aufweisen.

Ein Punkt der ausgiebig diskutiert wurde und oftmals strittig scheint, ist die Umwandlung von Information vom Verbindungslevel hin zum Strecken- oder Quell-Ziel-Niveau. Netzwerkmodelle stellen normalerweise Informationen auf dem Niveau von Netzwerkabschnitten bereit, für standardisierte Bewertungen (NKA) werden jedoch Informationen auf Quell-Ziel/Routeniveau benötigt. Wären Netzwerkverbindungen voneinander unabhängig, so könnten die Varianzen der einzelnen Verbindungen problemlos aufsummiert werden, was die Varianz der Strecke ergeben würde. Dies ist jedoch nicht auf die Standardabweichung anwendbar. Reisezeiten aufeinanderfolgender Verbindungen können zudem miteinander korreliert sein, weil eine

Tabelle 13. Diskutierte Möglichkeiten der Integration von Zuverlässigkeit in Transportmodelle (Namen der interviewten Experten in Klammern)

Veränderungen in der Zuordnung	Veränderungen in bestehenden Submodellen	Neue Submodelle	Prognostizieren von Zuverlässigkeit
Addiere Unzuverlässigkeitskosten zu den generalisierten Kosten (Hensher, Fosgerau, van Vuren, Hao Li, Hollander, Warffemius, KTH, Janssen, VU, ITS, Vovsha)	Berücksichtige Unzuverlässigkeitskosten in Nutzenfunktion der Transportmittelwahl (Hao Li, Warffemius, KTH, Janssen)	Abfahrtauswahl (Hensher, Warffemius, KTH, TOI)	Erstelle Volumen-Streuungsfunktionen (Fosgerau, TOI)
Dynamische Zuordnung (Bates, KTH, TOI, Tavasszy, VU)	Berücksichtige Unzuverlässigkeitskosten in Nutzenfunktion der Reisezielentscheidung (KTH)	Approximierte Abfahrtauswahl (Hollander)	Erstelle Stau-Zuverlässigkeitsfunktionen (Bates)
Mehrere Nutzerklassen (ITS)		Berechne Zuverlässigkeitseffekte als nachträgliche Prozessanalyse (Lomax)	Erstelle Reisezeit (Durchschnitt und bei freier Fahrt)-Streuungsfunktionen (oder für durchschnittliches zu spät sein) (KTH, VU)
Addiere Varianzen verschiedener Netzwerkabschnitte (Fosgerau)			Wiederholte Simulation von Reisezeiten, die dann Zuverlässigkeit ergeben (KTH, Nagel)
Routesuchalgorithmen die das Problem der Nichtaufsummierbarkeit der Netzwerkabschnitte lösen oder Änderung der generalisierten Kostenfunktion so, dass diese Verbindungen aufaddieren kann (van Vuren)			Modelliere Zusammenbruch des Verkehrsflusses und Entleeren von Warteschlangen (Bates, VU)
Simulation Reisezeiten pro Segment, um die Nichtadditivität zu beheben (Hollander)			Perzentile über 98 sollten nicht berücksichtigt werden (Fowkes)

Veränderungen in der Zuordnung	Veränderungen in bestehenden Submodellen	Neue Submodelle	Prognostizieren von Zuverlässigkeit
Benutze Standardabweichung per Quell-Ziel-Relation, um Nichtadditivität der Verbindungen zu vermeiden (KTH)			Kategorisiere verkehrspolitische Massnahmen gemäss ihres Einflusses auf Reisezeit und Zuverlässigkeit (Warffemius)

Warteschlange auf einer Verbindung zu einer Warteschlange bei der vorhergehenden Verbindung führen kann (Rückstau). In einer Fallstudie in Dänemark haben Fosgerau und Fukuda (2010) die Hypothese der Unabhängigkeit der von ihnen untersuchten Verbindungen nicht widerlegen können. Andere Experten (z.B. Nagel, Tabelle 9) bestätigen die These, dass die Verbindungen voneinander abhängen. Von daher sollten spezielle Umwandlungsmethoden benutzt werden, die Streuungswerte von der Netzwerkabschnittebene auf die Relationsebene herunterbrechen (z.B. die Simulationsmethode in Hollander und Buckmaster, 2009), oder aber direkt die Informationen auf der Relationsebene genutzt werden.

Einige Experten argumentieren, dass Zuverlässigkeit auch die Transportmittelwahl beeinflussen sollte (was ähnlich wie Routenwahl berücksichtigt werden könnte) und eine Expertengruppe erwähnte in diesem Zusammenhang die Reisezielwahl. Eine weitere Gruppe von unseren Experten empfiehlt als beste Lösung ein weiteres Submodell (das Abfahrtszeiten-Submodell) dem Standard-4-Stufen-Transportmodell hinzuzufügen. Diese Experten stellen fest, dass diese spezifische Entscheidung (im Submodell) wesentlich empfindlicher und verlässlicher ist, als die meisten anderen Entscheidungen im Verkehrsmodell (dies wird belegt mit empirische Daten, wie z.B. von den "HOT lanes" in den USA). Falls ein umfassendes Abfahrtszeitenwahlmodell basierend of "Scheduling-Theory" nicht möglich sein sollte, empfehlen die Experten Näherungswerte zu verwenden (siehe auch Hollander und Buckmaster, 2009). Einer der Experten empfiehlt statt der Integration von Zuverlässigkeit in Submodellen, die Verkehrsmodelle selbst unverändert zu lassen und die Zuverlässigkeit mittels post-processing nachträglich aus den Modellergebnissen abzuleiten.

Die am schwersten zu beantwortende Frage (teilweise, weil sie bisher im Wesentlichen unerforscht ist) ist, wie der zukünftige Umfang der Zuverlässigkeit prognostiziert werden kann. Dieses geschieht gewöhnlich auf der Basis von Variablen deren zukünftige Werte mit Hilfe von Transportmodellen vorhergesagt werden.

Unsere Experten haben diesbezüglich verschiedene Modellspezifikationen vorgeschlagen, die alle Zuverlässigkeit (Standardabweichung, Varianz) als abhängige Variable vorsehen: Modelle mit Verkehrsaufkommen als hauptsächlichem Einflussfaktor (Verkehrsaufkommen beeinflusst hier demnach nicht nur Geschwindigkeit wie im Standard-Transportmodell, sondern auch die Streuung), oder mit Reisezeit als Haupteinflussvariable. Hierzu werden Funktionen genutzt, die die Streuung ableiten aus dem Verhältnis von tatsächlicher mit free-flow Reisezeit oder anderen

Indikatoren für Stau (z.B. gemessen in verlorenen Fahrzeugstunden). Alle diese Faktoren können gewöhnlich mit den normalen Transportmodellen geschätzt werden. Beeinflusst jedoch die prognostizierte Standardabweichung oder Varianz die Verkehrsnachfrage und wenn dann die neue Verkehrsnachfrage wiederum einen Einfluss auf die Reisezeit hat, dann könnten mehr Iterationen notwendig werden.

Eine weitere Methode, die Varianz oder Standardabweichung der Reisezeit zu berechnen sind sich wiederholende Simulationen mit demselben Netzwerkmodell, jedoch mit leicht veränderten Inputs und dann über die verschiedenen Durchgänge zu aggregieren. Es ist allerdings unklar inwieweit eine solche Streuungsvariable mit der Streuung in der Realität vergleichbar ist.

Eine detailliertere Modellierung von dem, was passiert, wenn irgendwo im Netzwerk die Nachfrage das Angebot übersteigt (in der Praxis zu sehen, wenn der Verkehr zusammenbricht oder wenn sich Staus bilden bzw. auflösen), wäre überaus hilfreich, nicht nur in Hinblick auf die Integration von Zuverlässigkeit. Es wird jedoch noch viele Jahre dauern, bis solche Modelle sich als Standardmodelle durchsetzen.

Für die Bewertung von Investitionsprojekten ist es letztlich von Bedeutung zu ermitteln, inwieweit diese Projekte die Zuverlässigkeit beeinflussen werden. Jedoch gibt es bisher kaum Erfahrungen auf diesem Gebiet, was von unseren Experten bestätigt wurde. Einer der Experten schlug vor, ein Klassifizierungssystem für verschiedene Typen von verkehrspolitischen Maßnahmen /Investitionen zu entwickeln und gemessene Effekte oder Expertenmeinungen bezüglich der Effektivität dieser Maßnahmen auf die Zuverlässigkeit (und Reisezeit) zu verwenden.

Tabelle 14. Diskutierte Möglichkeiten der Integration von Zuverlässigkeit in Transportmodelle (Namen der interviewten Experten in Klammern): spezifische Kommentare zum Güterverkehr

Veränderungen in der Umlegung	Veränderungen in bestehenden Sub-modellen	Neue Sub-modelle	Prognostizieren von Zuverlässigkeit
	Füge Zuverlässigkeit zur Entscheidung bezüglich der Transportkette und des Lieferumfangs hinzu (Vierth)	Modelliere Angebotsalternativen für Spediteure, charakterisiert nach Preis, Zeit, Zuverlässigkeit, usw. (Swahn).	

Unsere Experten haben sich an zwei Stellen spezifisch zum Güterverkehr geäußert (siehe Tabelle 14). Zum einen sehen sie es als wichtig an, die Zuverlässigkeit zur Entscheidung bezüglich der Transportkette und des Lieferumfangs hinzuzufügen. Dies ist passiert beispielsweise im Logistikmodell in den nationalen Güterverkehrsmodellen in Schweden und Norwegen (und ist in der Entwicklung in Dänemark. Zum anderen spielt Zuverlässigkeit auch eine Rolle bei der Entwicklung neuer, praxisnaher Entscheidungsmodelle für Spediteure (z.B. bieten solche Modelle die Wahl zwischen mehreren Transportunternehmen), in denen die Entscheidung auch mit Infrastruktur und demnach Zuverlässigkeit eng verbunden wird.

8. Expertenrunde 2: Anwendung im deutschen Kontext

In der zweiten Runde wurden den Experten als Einleitung folgende Informationen zum deutschen Kontext zur Verfügung gestellt:

In Deutschland werden Infrastrukturprojekte des Bundes ex ante unter Verwendung einer Form der Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) bewertet. Bei diesem, unter dem Namen Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) bekanntem Verfahren, werden Standardmethoden für die Prognose und Bewertung verwendet. Der BVWP bezieht sich auf die Infrastruktur für Straße, Schiene und Binnenwasserstraßen.

Im Moment ist die Zuverlässigkeit der Reisezeit (oder Zuverlässigkeit der Transportzeit für den Güterverkehr) nicht in der NKA enthalten. Um dies zu tun, sind drei Arten von Informationen nötig:

- 1) Man muss vorhersagen, wie die Infrastrukturprojekte, die bewertet werden sollen, die Zuverlässigkeit beeinflussen.
- 2) Man muss die Reaktionen der Reisenden und der Entscheidungsträger im Güterverkehr (oder der noch weiter aggregierten Verkehrsnachfrage) auf Änderungen der Zuverlässigkeit vorhersagen.
- 3) Für die Aufnahme in die NKA benötigt man Geldwerte, um eine höhere Zuverlässigkeit in Geldeinheiten umzurechnen.

Derzeit werden im BVWP in Deutschland ein Personenverkehrsmodell und ein Güterverkehrsmodell verwendet. Das Personenverkehrsmodell ist ein aggregiertes Vier-Stufen-Transport-Modell, das auf Zonenebene oder Quelle-Ziel Zonenpaaren (dabei wird zwischen mehreren sozio-ökonomischen Bevölkerungsgruppen unterschieden) funktioniert. In den kommenden Jahren bis 2015 wird das Modell überarbeitet, allerdings bleibt diese grundlegende Charakterisierung weiterhin gültig. Das Modell wird ca. 2500 Zonen verwenden (es gibt aber auch eine detailliertere Umlegung in kleinere Zonen) und die Verkehrsträger PKW, Bahn, Bus und Flugzeug abbilden.

Das Güterverkehrsmodell verwendet ebenfalls die vier Schritte, jedoch wurde das Teilmodell für die Wahl der Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschifffahrt auf Daten von einzelnen Sendungen geschätzt (teilweise aus Stated-Preference-Erhebungen). Weder das Personenverkehrs- noch das Güterverkehrsmodell enthält ein Modell für die Wahl der Abfahrtszeit (oder Tageszeit). Dies wird sich auch nicht in der aktuellen Überarbeitung des Modells ändern. Das Personenverkehrsmodell beinhaltet jetzt generalisierte Transportkosten bei der Netzumlegung,

Verkehrsmittelwahl, -verteilung und induziertem Verkehr. Das Güterverkehrsmodell beinhaltet den Frachtpreis und Transportzeiten bei der Wahl des Verkehrsträgers, und auch den Anteil der Sendungen, die pünktlich ankommen.

In der NKA sind die Nutzegewinne von kürzeren Reise – und Transportzeiten enthalten, wobei Zeitkostensätze aus (in den Niederlanden durchgeführten) wissenschaftlichen Untersuchungen zur Zahlungsbereitschaft oder dem Ressourcenkostenansatz verwendet wurden. In den nächsten Jahren sollen neue Stated-Preference-Untersuchungen (auch in Verbindung mit Revealed-Preference-Daten) zur Ableitung von Zeitkostensätzen und Werten für die Zuverlässigkeit im Personenverkehr in Deutschland durchgeführt werden. Diese Daten sollen auch verwendet werden, um Verkehrsträgerwahlmodelle zu schätzen, die als Prognose-Modelle herangezogen werden, um die Auswirkungen von politischen Maßnahmen im Rahmen des BVWP vorherzusagen. Auch für den Güterverkehr ist eine Studie zu Zeitkostensätzen und Werten für die Zuverlässigkeit geplant. Die Ergebnisse der vorliegenden Machbarkeitsstudie zur Zuverlässigkeit können in diese Studien einfließen. Gleichzeitig untersucht eine aktuelle Studie kritisch die aktuellen NKA -Verfahren.

Es wurden insgesamt drei Fragen gestellt, wobei die dritte Frage in vier Teilfragen untergliedert wurde (siehe Auch Annex 5).

8.1 Ist eine Integration der Zuverlässigkeit in den nächsten 2-3 Jahren möglich?

Frage 1: Vor dem Hintergrund des oben skizzierten Kontexts, halten Sie es für möglich, in den nächsten 2-3 Jahren die Zuverlässigkeit der Reisezeit beim Personenverkehr und die Zuverlässigkeit der Transportzeit beim Güterverkehr in den deutschen BVWP aufzunehmen?

Tabelle 15. Ist eine Integration der Zuverlässigkeit in den nächsten 2-3 Jahren möglich?

Ja	Nein	Sonstige Meinungen
Fosgerau: für Personenverkehr theoretisch vertretbar und durchführbar		Bates: anspruchsvoll, allerdings nicht unmöglich (= ein vorsichtiges Ja)
Geistefeldt		Fosgerau: Für den Güterverkehr komplizierter, da es bei den Sendungen Sender und Empfänger gibt
Hensher		Hao Li: Durchaus möglich, wenn eine einfache Methode verwendet wird (Standardabweichung, kein Scheduling-Modell)
ITS: für Personen- und Güterverkehr		Janssen: Eine sehr anspruchsvolle Aufgabe
Nagel		KTH: Abhängig vom Anspruch bzgl. des Grades der Integration
Lomax		Swahn: Schwierig aber möglich mit einem starken und engagierten Einsatz. Nichts überstürzen.
Ortuzar		Warffemius: Einbeziehung von Zuverlässigkeit in die Verkehrsträgerwahl; Abfahrtszeit und Routenwahl brauchen mehr Zeit. Ein Modell zur Erklärung von Zuverlässigkeit ist möglich in diesem Zeitraum.
Tavasszy (Güterverkehr)		
TOI		
Van Vuren: kann leicht durchgeführt werden, wie von webTAG in GB empfohlen		
Vovsha		
VU		

Die meisten Experten erwarten, dass in den nächsten 2-3 Jahren die Zuverlässigkeit der Reisezeit beim Personenverkehr und die Zuverlässigkeit der Transportzeit beim Güterverkehr in den deutschen BVWP aufgenommen werden kann. Keiner hält dies für unmöglich, aber einige Experten betonen dies sei anspruchsvoll.

8.2 Empfehlungen für die Bewertung

Für den Fall, dass Frage 1 mit "Ja" beantwortet wurde, wurden die nachstehenden zwei Folgefragen gestellt:

2: Wie könnte man Ihrer Meinung nach am besten die monetären Werte für Zuverlässigkeit erhalten, so dass sie innerhalb von 2-3 Jahren verwendet werden können (wenn Ihre Antwort auf diese Frage die gleiche ist wie bei Frage 4 in der ersten Runde, dann geben Sie dies bitte an, es sei denn dass Ihre Antwort für den deutschen Kontext anders ausfällt).

Tabelle 16. Empfehlungen für die Bewertung

Veränderungen in der Zuordnung	Veränderungen in bestehenden Sub-modellen	Neue Submodelle
Varianz ist ein geeignetes Maß und kann zu den generalisierten Fahrtkosten dazu addiert werden (Fosgerau)	SP oder SP/RP (Hao Li)	Falls aktuelle Studien aus den Niederlanden positiv eingeschätzt werden können, dann sollte auf diesen aufgebaut werden (Bates, van Vuren)
Aus Erhebungen Versammeln von Daten über Sanktionen für Verspätungen je Gütergruppe (einschließlich Höhe der Sanktionen) (Fowkes)	SP (Hensher, Warffemius)	Ausleihen von VOT-VOR Beziehungen (je Reisezweck, Einkommensegment, etc.) von anderswo (Vovsha)
Für den Personenverkehr: Standardabweichung; für den Güterverkehr kann man den Prozentsatz der Verspätungen, der bereits im Verkehrsmodell enthalten ist, verwenden; ideal wären Zeitfenster von frühester und spätester Ankunftszeit (z.B. Verteilung der Ankunftszeit für 95% der Lieferungen) (ITS)	RP attraktiv, allerdings Probleme mit dem Zeitverzug (ein Reisender wird nicht immer gleich auf Verspätungen reagieren; SP (KTH)	

Veränderungen in der Zuordnung	Veränderungen in bestehenden Sub-modellen	Neue Submodelle
	<p>Die meisten "besseren" Studien haben einen Zuverlässigkeitsquotienten im Bereich von 0,9 bis 1,2 (Personenverkehr). Wir verwenden 1. Wir müssen allerdings Benutzergruppen unterscheiden. In den USA wird derzeit eine Diskussion zur Anwendung der Optionen-Theorie geführt (Lomax)</p>	
<p>Für den Güterverkehr benötigt man den Lieferzeitplan (Verlader) und die Routenplanung (Spedition/Transportunternehmen); für Speditionen könnte man die VOT für die VOR verwenden; ob Verlader zusätzliche VOR haben, muss untersucht werden (Tavasszy)</p>	<p>Interviews mit kommerziellen Transportunternehmen, um herauszufinden, ob zeitliche Schwankungen während des Tages die Planung beeinflussen (Nagel)</p>	
<p>Da ein Abfahrtszeitmodell nicht in Frage kommt, können Scheduling-Parameter nicht direkt in Deutschland verwendet werden. Daher wird es auf ein Maß für die Dispersion hinauslaufen. (TOI)</p>	<p>SP oder RP/SP; Transfer von Daten aus anderen Ländern (z.B. Niederlande) falls nicht machbar (Ortuzar)</p>	
	<p>Güterverkehr: Kombination aus RP und analytischer Vorgehensweise (Swahn)</p>	
	<p>Durchführung von SP, die verschiedene Maße für die Variabilität ermöglicht (TOI)</p>	

Veränderungen in der Zuordnung	Veränderungen in bestehenden Sub-modellen	Neue Submodelle
	Langfristig sind großflächige RP wünschenswert, für den Moment sind SP einfacher. Verdeutlichung gegenüber den Befragten, welche Informationen er / sie hat (fein, grob) (VU)	

Wie im Kapitel 7 wählen auch hier die meiste Experten für die Kombination Mean-Dispersion-Modelle und SP-Daten. Daten über (finanzielle) Sanktionen für Verspätungen im Güterverkehr, je Gütergruppe, werden auch genannt als mögliche Preis für Verspätungen, aber aus der Praxis wissen wir dass es nicht oft zu Sanktionen kommt. Tavasszy empfiehlt im Güterverkehr um einfach die transportkostenbasierte VOT auch für Verspätungen zu gebrauchen (möglicherweise mit einem Zuschlag für Kapitalkosten von Gütern in Transit). Swahn schlägt vor um analytische Transportkostenfunktionen als Ausgangspunkt zu nehmen um die VOT und VOR ab zu leiten. In den USA ist die Optionen-Theorie vorgeschlagen, aber auch scharf kritisiert. TOI (Oslo) betont dass die SP Experimenten verschiedene Maße für Unzuverlässigkeit (Standardabweichung, Varianz, mittlere Verspätung) in den Modellen erlauben sollen (so dass man diese in der Modelabschätzung testen kann) und wir möchten dass unterstützen. VU (Amsterdam) legt viel Wert darauf dass SP-Respondenten wissen sollen ob es Information gibt über Variation der Reisezeit mit Wochentag, Monat, usw, und auch da einigen wir uns.

8.3 Einbeziehung von Zuverlässigkeit in Verkehrsmodelle in Deutschland

8.3.1 Das geeignetste Maß für die Zuverlässigkeit

Frage 3a: Die zentrale Frage ist jetzt, wie Zuverlässigkeit in die deutschen Verkehrsmodelle, die in den nächsten 2-3 Jahren überarbeitet werden, einbezogen werden kann. Was halten Sie für das am besten geeignete Maß für die Zuverlässigkeit, das im Zuge der Revision der deutschen Verkehrsmodelle in den kommenden 2-3 Jahren berücksichtigt werden kann?

Tabelle 17. Das geeignetste Maß

Standardabweichung	Andere Dispersion	Andere
Standardabweichung (Bates, Ortuzar, Warffemius)	Varianz (Fosgerau)	Wahrscheinlichkeiten für Verspätungen, obwohl die Standardabweichung möglicherweise ein guter Ersatz ist (Fowkes)
Das Scheduling-Modell wird bevorzugt, allerdings sind die Standardabweichung oder ein verwandtes Maß für die Variabilität sind kurzfristig machbar (Hao Li)	Pufferzeit Index (Geistefeldt)	Veränderungen in den Reise- und Transportzeiten einschließlich der Häufigkeiten (Janssen)
Das Scheduling-Modell und Verbindungen zur psychologischen Perspektive (z.B. Neue Erwartungstheorie) werden bevorzugt; Streuung um den Mittelwert (mean dispersion) (Standardabweichung) könnte einfacher in ein traditionelles Verkehrsmodell zu integrieren sein (Hensher);	Pufferzeit (Tavasszy)	
Standardabweichung, durchschnittliches Zuspätkommen (Personenverkehr) oder Perzentile (z.B. 90-Perzentil, 50 - Perzentil), was weniger empfindlich gegenüber Ausreißern ist als die Standardabweichung (KTH)	Mehrere Maße für die Zuverlässigkeit: z. B. für öffentliche und für die technische Analyse. Planungs-Zeitindex für das Monitoring; Perzentile oder Standardabweichung für Modelle, die mit monetären Werten in NKA kombiniert werden (Lomax)	

Standardabweichung	Andere Dispersion	Andere
Standardabweichung auf Streckenebene (van Vuren)	Maß für die Dispersion. Wie werden die Inputs für die Zuverlässigkeitsvariable (Wahrscheinlichkeit von Verzögerungen) in bestehenden Güterverkehrsmodellen berechnet? Die Dispersion sollte in das Verkehrsträgerwahlmodell für Personen- und Güterverkehr integriert werden (TOI)	
Subjektiv wahrgenommene Zeit auf der Autobahn oder ein Maß für die Dispersion (Standardabweichung, Pufferzeit) (Vovsha), andere Methoden erfordern mehr Zeit. Zuverlässigkeit sollte in Verkehrsträgerwahl integriert werden (und zwar mittels logsum in Verteilung / Erzeugung) (Vovsha)		

Vor allem die Standardabweichung wird oft genant als das geeignetste Maß für die Einbeziehung von Zuverlässigkeit in die deutschen Verkehrsmodelle.

8.3.2 Datenbedarf

Frage 3b: Welche Art von Daten wäre erforderlich, um dieses Maß für die Zuverlässigkeit für ein Basisjahr einzubeziehen?

Tabelle 18. Datenbedarf

Straße	Schiene	Allgemein
<p>Elektronische Geschwindigkeits- und Zeitmessungen (auch um die Korrelation in Reisezeit zwischen den Abschnitten zu bestimmen); die nicht-zufälligen (non-random; = vorhersehbaren) Abweichungen sollten aus diesen Daten entfernt werden (Bates)</p>	<p>Informationen über die Pünktlichkeit und die Ursachen der Verzögerungen, den Umfang und die Wahrscheinlichkeit einer Verzögerung auf Netzwerk-basis; Infrastruktur-daten, komplette Fahrpläne für die Personen- und Güterzüge sowie die Nachfragematrizen (mit Streckenführungen, Umsteigezeiten) (Janssen)</p>	<p>Umfragedaten über Sanktionen bei Verspätung (Fowkes)</p>
<p>Geschwindigkeitsmessungen auf Straßenabschnitten (verschiedener Klassifizierungen), die es ermöglichen, ein Volumen-Varianz-Verhältnis zu bilden, und Informationen darüber, wie das Reiseverhalten auf Veränderungen in der Variabilität reagiert, vielleicht besser kein SP (Fosgerau)</p>		<p>SP/RP Daten und Daten über Infrastruktur (bestehende und neue), Netzwerke und Nachfrage (Hao Li)</p>
<p>Daten für das Zuverlässigkeitsmaß, das Verkehrsaufkommen und die Kapazitäten (Geistefeldt)</p>		<p>Für wiederholte Fahrten werden Daten benötigt, die die tagtäglichen Variationen widerspiegeln. Auf der einen Seite SP-Daten mit drei Reisezeiten (für rechtzeitiges, verfrühtes und verspätetes Ankommen) mit Wahrscheinlichkeiten, um die VOR zu erhalten. Auf der anderen Seite Messungen (z.B. von 2 Wochen) der realen Reisezeit, um Zeit- und Zuverlässigkeitswerte zu erhalten (Hensher).</p>

Straße	Schiene	Allgemein
<p>Zuverlässigkeit sollte als weitere Komponente der generalisierten Kosten einbezogen werden (bei der Umlegung, Erzeugung) im Idealfall verwendet man innerhalb des Modells die Abschnitts-Ebene; Bewertung durch Reisende findet auf Relationen –Ebene statt. Mehrere Benutzer-Klassen zur Unterscheidung bei der Bewertung (ITS)</p>		<p>Umfassende Fahrten-Matrizen, Daten zur Reisezeitverteilung für den Personen- und Güterverkehr (idealerweise je Netzwerkabschnitt), sowie Daten zu den Lieferzeitplänen für den Güterverkehr (ITS)</p>
<p>SP-Daten; beobachtete Reisezeiten und Verkehrsaufkommen auf einer großen Anzahl von Straßenabschnitten für verschiedene Tageszeiten, über einen Zeitraum von mindestens einem Monat; für ein dynamisches Nachfragemodell, das auf Zuverlässigkeit reagiert, müsste man auch RP-Daten haben (KTH).</p>		<p>Mit Bezug auf Speditionen: Datenbank mit Verteilung von früher / später Ankunft und Varianz oder Standardabweichung für alle Abschnitte (möglicherweise auch für häufige Routen- und Transportketten) (Swahn)</p>
<p>Messungen von Geschwindigkeiten und Verkehrsaufkommen, darüber hinaus auch Straßenattribute (Lomax)</p>		<p>Variationen in Fahrtzeiten synthetisiert auf Quelle/Ziel-Ebene (Tavasszy).</p>

Straße	Schiene	Allgemein
Kombination aus RP und SP (Ortuzar)		Daten zur Reisezeitvariabilität auf Netzwerk-Ebene: für den Verkehrsträger Straße kann dies den Funktionen für Verkehrsaufkommen und Geschwindigkeit entnommen werden, für den Schienenverkehr den Routenwahl-Algorithmen; setzt Additivität voraus, um von Abschnitten zu Relationen zu gelangen (TOI)
Zuverlässigkeit sollte als weitere Komponente der generalisierten Kosten in die Umlegung, Verkehrsträger- / Transportkettenwahl einbezogen werden (Swahn)		RP-Daten aus GPS-gestützten Umfragen, Netzwerk-Daten zur Reisezeitvariabilität auf Quelle/Ziel-Ebene (Vovsha)
Zuverlässigkeit kann aus den Ergebnissen von Standard-Modellen, wie z.B. Reisezeiten (oder verlängerten Reisezeiten) erhalten werden, entweder abschnittsbezogen, vorzugsweise aber auf Quelle/Ziel-Ebene. Zuverlässigkeit sollte in die Umlegung und Verkehrsträgerwahl / Zielwahl integriert werden (van Vuren)		Sehr vereinfachte Vorgehensweise: Das 0,25-fache der Kosten für die Änderung der durchschnittlichen Verzögerung. Genauer: Eine neue Schätzung der Relationen für verschiedene Verkehrsträger auf Daten zur Variabilität und Reisezeiten (VU)

Hier nennen die Experten vor allem Messungen (oder Modellberechnungen) von Geschwindigkeiten oder Reisezeiten und Infrastrukturdaten.

8.3.3 Prognose der Zuverlässigkeit

Frage 3c: Wie kann man zukünftige Werte dieses Maßes für die Zuverlässigkeit vorhersagen?

Tabelle 19. Prognose der Zuverlässigkeit

Basierend auf Verkehrsaufkommen	Basierend auf Reise-/Fahrzeit	Übrige (einschließlich Simulation)
<p>Die Korrelation zwischen Standardabweichung und anderen abschnittsbasierten / fahrtbezogenen Variablen: Entfernung, ein Maß für das Verkehrsaufkommen/ Kapazität (Autobahn) Für die Schiene noch weniger bekannt und mehr Forschung ist notwendig (Bates)</p>	<p>Verwendung der Funktion der tatsächlichen Reisezeitvariabilität (Hensher)</p>	<p>Verwendung einer "typischen" Reihe von Routen, die in einzelne Abschnitte mit den dazugehörigen Geschwindigkeit-Verkehrsstärke-Kurven heruntergebrochen werden. Beziehung auf Fahrten mit bekannten Sanktionen für Verspätungen, um die Häufigkeit von Verspätungen zu erhalten. Es wird empfohlen, nicht einen typischen Tag zu modellieren, sondern den 6. Dezil, 7., 8. und 9. Berücksichtigung der übrigen Verkehre (Pkw) und Zwischenfälle (Fowkes)</p>
<p>Mittels der Relation Verkehrsaufkommen-Varianz (Fosgerau)</p>	<p>Vorhersage der durchschnittlichen Reisezeit, des Straßentyps, der Tageszeit, der Nachfrage und dann Verwendung der Gleichung, um die Zuverlässigkeit zu erhalten (wie in Geschwindigkeit-Verkehrsstärke-Kurven) (KTH)</p>	<p>Untersuchung der Ursachen der Verzögerungen, des Ausmaßes und der Wahrscheinlichkeit (Janssen)</p>
<p>Untersuchung der Beziehungen mit bestehenden Variablen, wie das Verhältnis Volumen / Kapazität (Geistefeldt)</p>	<p>Vorhersage der Fahrzeiten in gewohnter Weise und dann Verwendung der geschätzten Funktion für die Zuverlässigkeit, die Fahrzeiten enthält (Hao Li, van Vuren)</p>	<p>Unterscheidung der tagtäglichen Variabilität durch Schwankungen während des Tages. Auf lange Sicht Entwicklung von Netzumlegungsmodellen, die physische Staus darstellen; diese sollten bei einer kurzfristigen Lösung korrigiert werden (Nagel)</p>

Basierend auf Verkehrsaufkommen	Basierend auf Reise-/Fahrzeit	Übrige (einschließlich Simulation)
<p>Es sollte ein Verbindung hergestellt werden zwischen Zuverlässigkeit und den Quellen und Ursachen (v.a. Unfälle / Zwischenfällen vs tagtägliche Variabilität), den Veränderungen in Einkommen, Reisekosten, und Wegstrecken im Zeitverlauf und dem Verkehrsfluss auf den Abschnitten.</p> <p>(ITS)</p>	<p>Im Wesentlichen zwei Ansätze in den USA: 1) Erklärung der Zuverlässigkeit aus einem Maß für die Verkehrsüberlastung/Staus 2) Man introduziert zufällige Störungen der Nachfrage und macht verschiedene Umlegungen, um eine explizite Reisezeitverteilung zu erhalten</p> <p>(Vovsha)</p>	<p>Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Änderungen an der Infrastruktur, sonst Szenarien</p> <p>(Ortuzar)</p>
<p>Vorhersagen der Zuverlässigkeit (z. B. auf Basis der 80- und 50-Perzentile der Verzögerungen) von Verkehrsaufkommen und Kapazität; langfristig können auch Zwischenfälle, Wetter, Streckenlängen, Messdauer und verschiedene politische Maßnahmen in einem Szenario-Ansatz berücksichtigt werden</p> <p>(Lomax)</p>	<p>Verwendung der Beziehung unter b (VU)</p>	<p>Regressieren der Transportzeit auf die Straßenkapazität, den Verkehrs-Mix und externe Faktoren. Kontrolle der Additivität von der Abschnitts- auf die Relationen (Quelle/Ziel)-Ebene. Extrahieren der entfernungsabhängigen Pufferzeit, die Transportunternehmen in ihrer Planung verwenden und Umwandlung in eine Geschwindigkeitsreduzierung</p> <p>(Tavassy)</p>
<p>Verwendung der Beziehung unter 3b (TOI)</p>	<p>Optionen, um die Zuverlässigkeit vorherzusagen sind: 1) Ein Modell, wie das niederländische SMARA, das Monte-Carlo-Simulation verwendet 2) Postprozessor für die Zuverlässigkeit 3) Aufschlag (z.B. 25% für Reisezeitgewinne)</p> <p>(Warffemius)</p>	<p>Im Wesentlichen zwei Ansätze in den USA: 1) Erklärung der Zuverlässigkeit aus einem Maß für die Verkehrsüberlastung/Staus 2) Man introduziert zufällige Störungen der Nachfrage und macht verschiedene Umlegungen, um eine explizite Reisezeitverteilung zu erhalten</p> <p>(Vovsha)</p>

Basierend auf Verkehrsaufkommen	Basierend auf Reise-/Fahrtzeit	Übrige (einschließlich Simulation)
		Optionen, um die Zuverlässigkeit vorherzusagen sind: 1) Ein Modell, wie das niederländische SMARA, das Monte-Carlo-Simulation verwendet 2) Postprozessor für die Zuverlässigkeit 3) Aufschlag (z.B. 25% für Reisezeitgewinne) (Warffemius)

Verschiedene Gleichungen zur Erklärung der Standardabweichung der Reisezeit werden genannt, sowohl mit Verkehrsnachfrage (Verkehrszufluss) oder auch mit durchschnittliche wahrgenommene Reisezeit als Einflussgrößen. In Kapitel 9 werden wir für Straßenverkehr vorschlagen, mit der durchschnittlichen Reisezeit als erklärende Variable anzufangen. Erstens muss das Modell mit Verkehrszufluss für jede Strecke kalibriert werden, wobei nicht bekannt ist, ob die Parameter auf andere Strecken übertragen werden können. Zweitens ist unklar, wie sich das Modell bei den verschiedenen Zu- und Ausfahrten verhält. Drittens haben Maßnahmen, die keinen Einfluss auf den Zufluss haben, keinen Einfluss auf die geschätzte Zuverlässigkeit der Reise-/Transportzeit. Daher können wir diesen Ansatz nicht empfehlen.

8.3.4 Einfluss von Infrastrukturprojekten auf die Zuverlässigkeit

Frage 3d: Wie könnte man die Auswirkungen von Infrastrukturprojekten auf dieses Maß für die Zuverlässigkeit vorhersagen (im Rahmen des BVWP 2015)?

Tabelle 20. Einfluss von Infrastrukturprojekten auf die Zuverlässigkeit

Mittels einer Funktion für die Zuverlässigkeit	Mittels einer Tabelle für verschiedene (verkehrs-)politische Maßnahmen	Übrige
<p>Verwendung der Funktionen von 3c. (Bates, Fowkes, Geistefeldt, Hao Li, Tavasszy, van Vuren Vovsha)</p>	<p>Schätzung der durch das Projekt verursachten Änderungen von Verkehrsaufkommen und Kapazität. Das ist akzeptabel für Kapazitätserweiterungen; jedoch können für das Nachfrage- und Verkehrsmanagement alternativ Reduktionsfaktoren (aus einer Tabelle mit Standardwerten) auf prognostizierte Verzögerung verwendet werden</p> <p>(Lomax)</p>	<p>Die Variabilität wird zu einem Bestandteil der generalisierten Kosten im Prognosemodell. In der KNA Verwendung des Ressourcenwertes (Bereinigung um indirekte Steuern). Bottom-up Berechnung der Variabilität von Abschnitten im Netzwerk (auch für den öffentlichen Verkehr)</p> <p>(Hensher)</p>
<p>Änderungen im Verkehrsaufkommen oder im Straßentyp werden Variabilität durch das Volumen-Varianz-Verhältnis beeinflussen</p> <p>(Fosgerau)</p>	<p>Kategorisierung von verkehrlichen Maßnahmen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die durchschnittliche Fahrtzeit und Zuverlässigkeit (nach oben oder unten); wenn möglich Hinzuzufügen des Ausmaßes des Effekts nach Einschätzung von Experten</p> <p>(Warffemius)</p>	<p>Unterscheidung: primäre Verzögerungen: durch interne (z.B. den Zug selbst) und externe (z.B. Infrastruktur) verursachte Effekte. Sekundäre Verzögerungen: verursacht durch die primären Verzögerungen</p> <p>(Janssen)</p>
<p>Die Frage ist, ob die geschätzte Gleichung auch für neue oder grundlegend veränderte Infrastruktur zutreffend ist. Es ist sicher ratsam, politisch relevante Attribute in die Gleichung aufzunehmen: Anzahl der Fahrspuren, Breite der Standspur;</p> <p>(KTH)</p>		<p>Aus früheren Erfahrungen in anderen Ländern (Modelle, Vorher-Nachher-Studien)</p> <p>(Ortuzar)</p>

Mittels einer Funktion für die Zuverlässigkeit	Mittels einer Tabelle für verschiedene (verkehrs-) politische Maßnahmen	Übrige
<p>Die Beziehung unter 3b kann so lange verwendet werden, wie man die Auswirkungen auf die Fahrzeit kennt und die Maßnahme nichts an der Beziehung ändert (z. B. Bereitstellung von Informationen); Einige Maßnahmen (z. B. Verwendung des Seitenstreifens als Fahrspur in der Hauptverkehrszeit) könnte die Reisezeit reduzieren aber die Variabilität erhöhen.</p> <p>(VU)</p>		<p>Es wird eine Konvertierung der Auswirkungen von Infrastrukturmaßnahmen und Anpassungen durch Verlader und Spediteure in Maßnahmen für die KNA benötigt (z. B. Winter, Schnee, Probleme für den Schienenverkehr in Skandinavien)</p> <p>(Swahn)</p>
		<p>Welche Auswirkungen hat die Kapazität auf die Umlegung; Auswirkungen von Störfällen auf die Variabilität hängt auch vom Grad der Stauneigung ab. Für die Schiene: Auswirkungen durch Anzahl der Fahrzeuge. Wird in den deutschen Modellen die Tageszeit unterschieden?</p> <p>(TOI)</p>

Die Experten empfehlen, die Gleichungen aus 8.3.3 zu verwenden, um die Auswirkungen von Infrastrukturprojekten auf die Zuverlässigkeit vorhersagen zu können. Es gibt allerdings Maßnahmen (grundlegend andere Infrastruktur, Seitenstreifen wird Fahrspur), wo das möglicherweise nicht gut passt. Tabellen mit Standardwerten und Vorher-Nachher-Untersuchungen für verschiedene Maßnahmen werden von Experten aus Holland und Nord- und Süd-Amerika auch genannt.

9. Synthese von Ergebnissen aus der Literaturanalyse und Expertenbefragung

9.1 Definition von Zuverlässigkeit

Wir sind auf einige gebräuchliche Definitionen von Zuverlässigkeit gestoßen, die in der wissenschaftlichen Literatur oder in praktischen Anwendung von Behörden und ÖPNV-Unternehmen verwendet werden, die allerdings nicht ohne Weiteres zur Berücksichtigung von Effekten der Zuverlässigkeit in eine nationale NKA herangezogen werden können. Es blieben zwei mögliche Kandidaten für die Definition der Zuverlässigkeit übrig, die sich für die Aufnahme in die NKA eignen, nämlich entsprechende Maße für die Terminverzögerungen (Schedule-Delay, gemessen relativ zur „preferred arrival time“ PAT) und Maße für die Streuung. Die Experten haben noch einige Definitionen hinzugefügt, vor allem für den ÖV: Verspätungen (im Vergleich zum Fahrplan), Produkt aus der Wahrscheinlichkeit einer Verspätung und der Dauer der Verspätung oder die durchschnittliche Verspätung der Reise.

Auf den ersten Blick, scheint es attraktiv, Unzuverlässigkeit als Verzögerungen im Zeitplan (Schedule-Delay), zu definieren:

- Diese Definition basiert auf der volkswirtschaftlichen Theorie (das Vickrey-Small Scheduling-Modell) und ist das am häufigsten verwendete Modell in der wissenschaftlichen Literatur zum Thema Zuverlässigkeit.
- Die Definition passt gut in den Kontext der Nutzen-Kosten-Analyse von Infrastrukturprojekten, da wichtige Auswirkungen der Unzuverlässigkeit (in Form von früherer und späterer Ankunft) für Reisende und Gütertransport betrachtet werden (und gemäß der Wohlfahrtstheorie, die der NKA zu Grunde liegt, möchten wir den direkten Nutzen der daraus für die Reisenden und Lieferungen resultiert, z.B. Veränderungen der Konsumentensurplus (consumer surplus), messen).
- Verzögerungen im Fahrplan bilden den Effekt ab, dass eine Verspätung in der Regel einen höheren Negativnutzen mit sich bringt als eine Verfrühung (Asymmetrie in Zuverlässigkeitskosten), während viele Streuungsmaße kurzen und lange Fahrzeiten den gleichen Negativnutzen beimessen.
- Aus den Interviews sehen wir, dass beim Gütertransport die Kundenorientierung eine große Rolle spielt. Das heißt, dass bezüglich der Zuverlässigkeit die pünktliche

Anlieferung der Waren beim Empfänger entscheidend ist. Auch die Interviews mit Geschäftsreisenden zeigen, dass das Hauptproblem der Unzuverlässigkeit verpasste Termine sind.

Betrachtet man jedoch vor allem die praktische Verkehrsmodellierung, dann ist ein Maß für die Streuung, wie z.B. die Standardabweichung, wahrscheinlich die beste Wahl für die Definition von Unzuverlässigkeit:

- Es kann als Näherungswert für die Scheduling-Effekte herangezogen werden (Fosgerau und Karlström, 2010); so besteht indirekt eine theoretische Grundlage. Scheduling-Effekte können unter bestimmten Bedingungen in ein Maß für die Streuung übersetzt werden.
- Die Verwendung des Mittelwerts und der Varianz (oder Standardabweichung) ist eine einfache Methode, um eine statistische Verteilung zusammenzufassen (unter Verwendung der ersten beiden statistischen Momente).
- Es gibt Hinweise aus empirischen Bewertungsstudien z.B. (Tseng, 2008; Börjesson et al, 2011), dass die Maße der Streuung mehr Effekte aufgreifen als die Scheduling-Variablen (nämlich abgesehen von den Effekten von Frühzeitigkeit und Verspätung der Scheduling-Modelle, auch Stress, Verärgerung und die Notwendigkeit einer erneuten Planung im Falle von Verspätungen).
- Das aktuelle Verkehrsmodell in Deutschland beinhaltet kein Teilmodell für die Abfahrtszeit und das ist auch für die Verkehrsverflechtungsprognose 2030 nicht vorgesehen. Dies macht es schwer, Scheduling-Variablen zu integrieren. Nur wenige Transport-Modelle, die in der Praxis eingesetzt werden, verfügen über solche Teilmodelle (z.B. das niederländische Modell), und sogar die Abfahrtszeitmodelle in diesen Modellen verwenden keine Strafen, die mit Bezug auf die gewünschte Ankunftszeit (PAT preferred arrival time) berechnet werden. Das Problem mit Scheduling-Modellen besteht im Allgemeinen darin, dass es schwierig ist, Informationen zu den PAT zu erhalten. Es ist daher praktisch unmöglich, Scheduling-Strafen direkt in das BVWP-Modell einzubetten, höchstens sehr langfristig. Das Hinzufügen einer Standardabweichung in bestehende Teilmodelle (z.B. Verkehrsmittelwahl), auf der Basis einer SP-Untersuchung, oder eines zusätzlichen, teilweise SP-basierten (Verkehrsmittelwahl)-Modells, das Änderungen in Bezug auf die Referenzsituation berechnen würde, wäre allerdings machbar.
- Es kann empirisch aus Reisezeitmessungen (z.B. auf Autobahnen) gemessen werden.
- Es entsteht eine gute statistische Anpassung an Stated-Preference-Daten.
- Mit dem oben beschriebenen Modell, und mit monetären Werten (je Einheit) für das Maß der Streuung, die aus einer Bewertungsstudie entnommen werden (wobei Streuung beispielsweise berücksichtigt werden kann, indem fünf mögliche Reisezeiten pro Wahlmöglichkeit angezeigt werden), können Änderungen der Zuverlässigkeit mit wesentlich geringerem Aufwand in die NKA integriert werden als für den Terminverzug (Schedule-Delays).

Auch in Bezug auf den öffentlichen Verkehr empfehlen wir die Verwendung der Standardabweichung. Es gäbe vielleicht noch andere Maße, die etwas besser für den öffentlichen Verkehr passen würden (wie von einigen Experten vorgeschlagen), aber für die Konsistenz der Verfahren für die unterschiedlichen Verkehrsträger in der NKA wäre es gut, soweit wie möglich die gleichen Definitionen für alle Verkehrsträger zu verwenden.

9.2 Empfehlungen für die Q-Seite und die P-Seite

Aus den Ergebnissen der Literaturrecherche und des Expertentreffens kann man schlussfolgern, dass bis zu gewissem Grad Einigkeit darüber besteht, welche Methodik verwendet werden sollte, um Unzuverlässigkeit in der Nutzen-Kosten-Analysen zu bewerten, auch wenn nicht alle Wissenschaftler und Experten der gleichen Ansicht sind. Es handelt sich hier um ein komplexes Thema, das zusätzliche Forschung erfordert, um Antworten auf noch einige offene Fragen zu geben. Obwohl ein allgemeiner Konsens zu diesem Thema (noch) nicht existiert, sind wir dennoch davon überzeugt, dass die Empfehlungen in diesem Kapitel im Einvernehmen mit der Meinung der Mehrheit der Wissenschaftler und Experten stehen.

Im nächsten Abschnitt werden wir drei verschiedene Methoden beschreiben. Die erste Methodik ist ein einfacher Ansatz, der innerhalb von 1 bis 2 Jahren umgesetzt werden kann. Dieser Ansatz erfordert keine Anpassungen in Bezug auf das Verkehrsmodell und benötigt nur eine kurze Rechenzeit. Die zweite Methodik ist ein weitergehender Ansatz, der innerhalb von 3 bis 5 Jahren umgesetzt werden kann, aber einige Änderungen an dem Verkehrsmodell und eine längere Rechenzeit erfordert. Die dritte Methodik kann in gewissem Maße als das ideale Modell bezeichnet werden, das in 10+ Jahren umgesetzt werden könnte. Es setzt erhebliche Änderungen an dem Verkehrsmodell voraus und erfordert aufgrund der notwendigen Simulationen sehr lange Rechenzeiten.

Wir empfehlen die Wahl einer spezifischen Definition von Zuverlässigkeit (anstelle einer breiten Definition, welche auch andere Elemente einschließen würde, die bereits in der NKA enthalten sind). Insbesondere empfehlen wir nach der Definition in Hellinga (2011):

“reliability is defined as the consistency with which the trip maker’s actual trip travel time matches the trip maker’s expected trip travel time”^{13, 14}

Die operationale Definition kann dann bei den drei Methodiken unterschiedlich ausfallen.

¹³ "Zuverlässigkeit bezeichnet die Übereinstimmung zwischen der tatsächlichen Reisezeit eines Reisenden mit der erwarteten Reisezeit".

¹⁴ Diese Definition umfasst nicht die Auswirkungen unerwarteter Schwankungen der Wasserstände auf die Ladekapazität der Binnenschiffschiffe (mit Ausnahme der Einflüsse auf die Schwankungen der Transportzeit), die wenn möglich auch in der NKA eine Rolle spielen sollen. Bei der Besprechung der Binnenschifffahrt in diesem Kapitel werden wir separat auf Schwankungen der Wasserstände zurückkommen.

9.2.1 Drei Methodiken: Leicht durchführbare Ansatz, mittelfristiger Ansatz, Idealansatz

Wir unterscheiden drei Handlungsalternativen für das BMVBS in Bezug auf die Einbeziehung von Zuverlässigkeit in die NKA von Bundesinfrastrukturprojekten. Diese drei Alternativen unterscheiden sich vor allem im Hinblick auf ihre Komplexität und den erforderlichen wissenschaftlichen Einsatz. Wir beschreiben zunächst die einfachste Alternative (Methodik 1), dann die mittelfristige Alternative (Methodik 2) und schließlich die umfangreichste und komplexeste Alternative (Methodik 3).

Methodik 2 baut auf Methodik 1, und könnte als eine Erweiterung nach erfolgreicher Durchführung von Methodik 1 entwickelt werden. Methodik 3 stellt in mehrfacher Hinsicht einen anderen Ansatz dar: Falls Methodik 1 und 2 zuerst durchgeführt werden würden, könnten einige Elemente aus diesen Alternativen wieder verwendet werden. Größtenteils müsste die Methodik jedoch von Grund auf neu entwickelt werden.

Tabelle 21 fasst die Merkmale der drei Methoden zusammen, und zeigt ihre Unterschiede. Nachfolgend beschreiben wir jedes dieser Merkmale.

Tabelle 21: Eigenschaften der drei Methoden

	Benutzer bezieht Unzuverlässigkeit in Wahlentscheidung ein		Maß für die Unzuverlässigkeit ¹		Beziehung zwischen Unzuverlässigkeit und Reise- bzw. Fahrzeit ²		Szenarien	
	nein	ja	Standard- Abw.	Sched.	exo.	endo.	Einzel	mehrfach
Methodik 1								
Einfach und machbar	X		X		X		X	
Methodik 2								
Mittelfristig		X	X		X			X
Methodik 3								
Komplex und ideal		X	X	X		X		X

¹ Standard-Abw. = Standardabweichung, Sched. = Terminverzug (Schedule-Delay)

² exo. = exogen, endo. = endogen

Die erste Eigenschaft besteht darin, ob der Benutzer (Reisende/Agent) Unzuverlässigkeit bei seiner Entscheidung für eine Reise oder einen Transport berücksichtigt. In Methodik 1 wird davon ausgegangen, dass derartige Einflüsse der Unzuverlässigkeit auf die Entscheidungen nicht vorhanden sind. Dabei handelt es sich um eine stark vereinfachende Annahme, die damit auch den Modellierungsaufwand deutlich reduziert. Die beiden anderen Methoden berücksichtigen Unzuverlässigkeit explizit bei der Modellierung des Wahlverhaltens der Benutzer.

Die zweite Eigenschaft definiert, welcher Mechanismus als Reaktion auf Unzuverlässigkeit und welches Maß für die Unzuverlässigkeit angewendet werden. Wie in der Literaturanalyse diskutiert, gibt es zwei Methoden, die verwendet werden können, nämlich eine, die die Streuung der Reisezeitverteilung misst (z. B. in Bezug auf die Standardabweichung), und eine, welche die Auswirkungen einer zu frühen oder zu späten Ankunft auf den Benutzer misst (z.B. im Hinblick auf die Verzögerungen im Zeitplan). Verzögerungen im Zeitplan kann man nur dann in Betracht ziehen, wenn das Modell aus einem Modell zur Wahl der Abfahrtszeit besteht und Daten über bevorzugte Ankunfts- und/oder Abfahrtszeiten zur Verfügung stehen. Daher werden Terminverzögerungen nur in Methodik 3 verwendet, wohingegen in den Methodiken 1 und 2 ein einfacheres Maß für die Dispersion verwendet wird. Es sei darauf hingewiesen, dass wir in Methodik 3 außerdem die Standardabweichung zusätzlich zur Terminverzögerung empfehlen, wobei direkte und indirekte Auswirkungen der Unzuverlässigkeit berücksichtigt werden.

Die dritte Eigenschaft befasst sich mit der Beziehung zwischen Unzuverlässigkeit und der Reise- bzw. Fahrzeit. In Methodiken 1 und 2 wird diese Beziehung aus empirischen Daten geschätzt und dann exogen in dem Modell verwendet. Dies macht das Modell schnell, aber weniger flexibel. Methodik 3 verwendet eine Monte-Carlo-Simulation, um die Beziehung zwischen Unzuverlässigkeit und Reise-/Fahrzeit endogen zu beschreiben.

Die vierte Eigenschaft beschreibt, ob sich die Methode auf ein einziges Szenario oder mehrere Szenarien bezieht. Methodik 1 berücksichtigt einen einzelnen durchschnittlichen Tag, während Methodiken 2 und 3 verschiedene Szenarien (z. B. montags, freitags, Feiertage, Events, Wetterverhältnisse) betrachten. Diese Szenarien können mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten auftreten. Da die Beziehung zwischen Verkehrsnachfrage und Fahrtzeit nicht linear ist, lieferte eine getrennte Betrachtung verschiedener Szenarien eine genauere Einschätzung in den Nutzen- Kosten -Analysen.¹⁵

Methodik 1 ist vergleichbar mit den Ansätzen, die in der Praxis in Großbritannien, den USA, den Niederlanden und Schweden (und manchmal auch in offiziellen Projektbewertungsverfahren) implementiert wurden. Methodik 2 ähnelt einigen der aktuellen Pläne in diesen Ländern, es gibt jedoch noch kaum Beispiele aus der Praxis (eine Ausnahme ist das SILVESTER Modell für Stockholm, dem auch Merkmale der Methodik 3 zu eigen sind). Alternative 3 geht deutlich über die heutige Best-Practice hinaus, und übertrifft in gewisser Weise sogar den aktuellen Stand der Forschung: Weitere Forschung wird benötigt, um dies umzusetzen.

In den folgenden Abschnitten wird jede dieser Methoden näher erläutert. In jedem Abschnitt werden die Q-Seite (Höhe der Unzuverlässigkeit) und die P-Seite (Wert der Zuverlässigkeit)

¹⁵ Die beiden Erweiterungen in Methodik 2 (feedback und Szenarien) sind voneinander unabhängig und können daher auch einzeln gewählt werden. (z.B. Methodik 1 mit verschiedenen Zustände) Für mehrere Zustände (Szenarien) sind wohl mehr Reisezeitdaten benötigt, denn man muss dann eine Regressionsgleichung schätzen für jedes Szenario. Ob dass bereits schon in Methodik 1 möglich ist, hängt ab von der Verfügbarkeit der Reisezeitdaten.

separat diskutiert. Darüber hinaus werden für jede Methode die aufeinander folgenden Schritte, die für die Umsetzung notwendig sind, beschrieben. Schließlich wird eine Einschätzung des finanziellen Aufwands für jede der drei Methoden gegeben.

9.2.2 Methodik 1: Am wenigsten umfassend – am einfachsten machbar

Maß für die Unzuverlässigkeit

Wir schlagen vor, dass sowohl für die Q-Seite als auch P-Seite die Standardabweichung der Reisezeitverteilung als Maß für die Zuverlässigkeit eingesetzt wird. Es gibt Argumente für und wider (siehe auch 9.1), aber da nicht davon ausgegangen werden kann, dass es in Deutschland in den nächsten 2-3 Jahren ein Wahlmodell für die Abfahrtszeit geben wird, bietet sich als einzige Lösung an, ein Maß für die Dispersion zu verwenden. Bei den Maßen für die Dispersion könnte die Varianz eine Option sein. Seine Vorteile beziehen sich allerdings nur auf Situationen, in denen die Reisezeitverteilungen von Abschnitten unabhängig sind, was nicht sehr praxisnah ist. Modelle mit Standardabweichungen schneiden bei Verwendung von SP-Daten oft besser ab als Modelle mit Varianzen, Die Standardabweichung wurde daher auch von den meisten Experten als geeignetes Maß empfohlen (siehe auch Annex 6).

Die Pufferzeit (Index) wird häufig in den USA eingesetzt und liefert ähnliche Ergebnisse beim Einsatz der Standardabweichung im Falle von symmetrischen Reisezeitverteilungen. Bei asymmetrischer Reisezeitverteilung (was in der Praxis der Fall ist) werden sie zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, wobei einiges dafür spricht, dass die Pufferzeit eine realistischere Darstellung liefert. Allerdings liegt bei Pufferzeiten der Fokus auf das Vermeiden von Verspätungen und nicht von Verfrühungen. Terminverzögerungen (direkt) und Standardabweichung oder Varianz (indirekt) können theoretisch begründet werden (Scheduling-Theorie), aber Puffer Index nicht. Da die Standardabweichung die größte Unterstützung bei den Experten gefunden hat, international bereits in mehreren Ländern in der NKA eingesetzt wird (oder Vorbereitungen für künftige NKAs laufen) und sie sich gut aus der Verhaltens-Theorie ableiten lässt, wählen wir hier die Standardabweichung.

Ursachen von Unzuverlässigkeit: Was beinhaltet die Standardabweichung?

Die Standardabweichung soll mehrere Ursachen für die Unzuverlässigkeit berücksichtigen, nämlich wiederkehrende Staus, Baustellen, Unfälle, unerwartete Wetterbedingungen und die zufälligen Komponente der tagtäglichen Schwankungen der Reise-/Transportzeit (ein Teil der Schwankungen im Tageslauf ist erwartet). Dadurch erhält man eine Annäherung an die Unzuverlässigkeit des Systems, ohne Berücksichtigung der Robustheit (Sensitivität des Netzes bezüglich extremer Ereignisse). Auf diese Weise deckt die NKA drei der vier Zellen der Abbildung 2 in Kapitel 2 (ohne Unterscheidung zwischen den drei Zellen): Nur die rechte untere Zelle bleibt noch offen.

Dieses ist auch abgebildet in Abbildung 10. Die häufig stattfindenden und vorhersehbaren Ursachen von Verspätung sind bereits Bestandteil der von den Reisenden erwarteten Reisezeit (werden also in der NKA mitgenommen in Reisezeitgewinnen). Die Standardabweichung

umfasst auch seltene und unvorhersehbare Ursachen von Schwankungen der Reisezeit, wie Unfälle, besondere Ereignisse und die stochastische Variation der Reisezeit. Besondere Ereignisse (z.B. Sonderveranstaltungen wie Open-Air-Konzerte) sind zwar lange im Voraus geplant, allerdings sind die genauen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf nicht im Voraus bekannt.

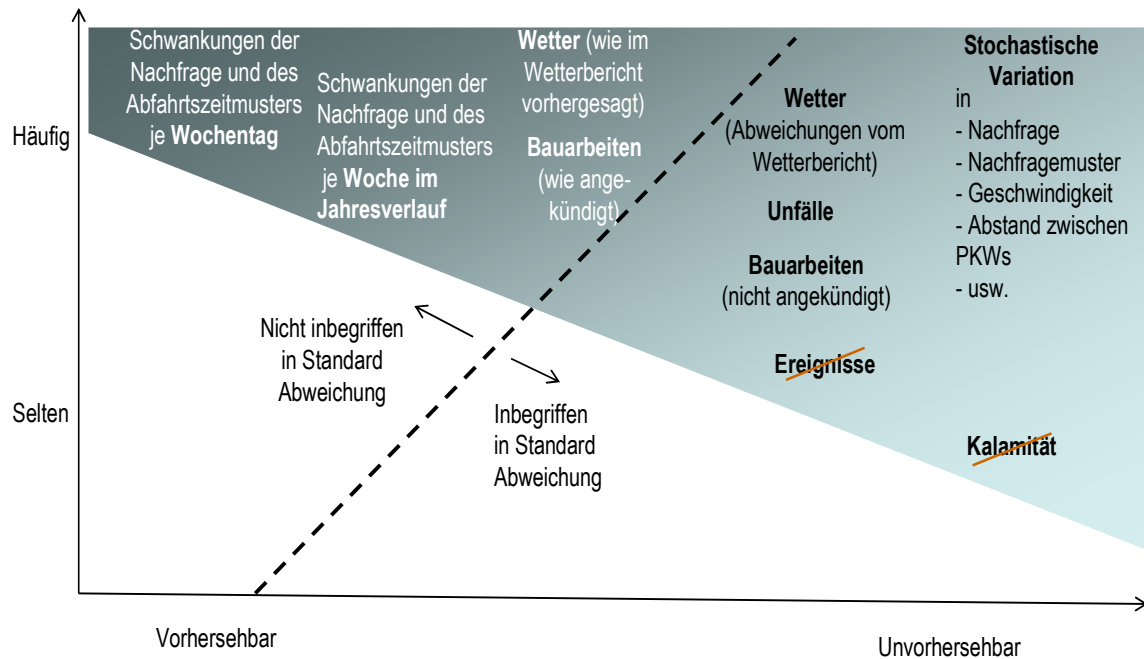


Abbildung 10: Ursachen für Schwankungen der Reisezeit

Q-Seite

Bei dieser Methode werden die Verkehrsmodelle nicht verändert, um die Zuverlässigkeit einzubeziehen (wobei in den kommenden 2-3 Jahren Änderungen aus anderen Gründen als zur Modellierung von Unzuverlässigkeit natürlich möglich sind). Um Zuverlässigkeit in die NKA aufzunehmen, muss ein neues separates Modul für die Zuverlässigkeit entwickelt werden, das den Output des Verkehrsmodells verwendet, um zukünftige Werte der Zuverlässigkeit vorherzusagen. Dabei handelt es sich um ein so genanntes Post-Processing-Modul, dessen Output nicht wieder als Feed-back in das Verkehrsmodell gelangt: Die Kommunikation findet nur in eine Richtung zwischen dem Verkehrsmodell und dem neuen Modul für die Zuverlässigkeit statt. Ein Nachteil ist, dass die Verkehrsnachfrage in dem Verkehrsmodell und dem Modul für Zuverlässigkeit nicht vollständig übereinstimmt: In Wirklichkeit reagieren Agenten (Reisende und andere Entscheidungsträger im Güterverkehr) auf die Veränderungen in der Zuverlässigkeit. Die Nachfrage, die die Verkehrsmodelle produzieren, steht nicht im Gleichgewicht mit dem prognostizierten Maß an Zuverlässigkeit. Bei dieser Methode gehen wir davon aus, dass die Agenten nicht auf Veränderungen in der Zuverlässigkeit reagieren. Wir berechnen daher die volkswirtschaftlichen Folgen von Veränderungen der Zuverlässigkeit unter der Annahme von unverändertem Verhalten.

Abbildung 11 veranschaulicht diesen Prozess. Der Input, ganz oben in der Abbildung, besteht aus der Verkehrsnachfrage und der Verkehrsinfrastruktur. In Deutschland liegen bereits Modelle für die Wahl der Reishäufigkeit/Fahrfrequenz (Erzeugung) und Ziel-Wahl (Verteilung) vor. Der Input für die Verkehrsnachfrage ist hier eine Quelle-Ziel-Trip-Matrix (für alle Verkehrsträger) ist. Das Verkehrsmodell sagt relationsbezogene Reise-/Fahrzeiten und Fahrkosten voraus, die in den so genannten generalisierten Kosten zusammengefasst werden. Die Verkehrsträger- und Routenwahl wird dann durch diese generalisierten Kosten beeinflusst. Die aktuellen Modelle des BMVBS besitzen bereits diese Struktur. Daher sind keine Anpassungen an den Verkehrsmodellen notwendig.

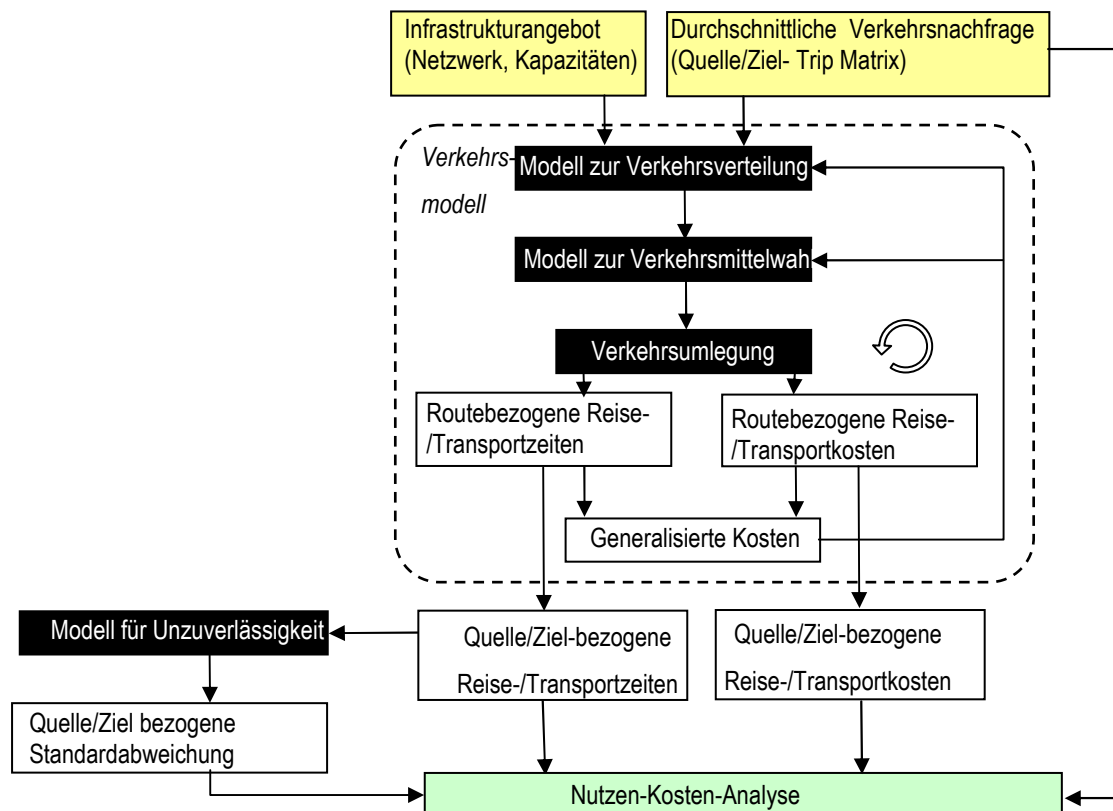


Abbildung 11: Vorhersagemodell in Methodik 1

Zur Umsetzung der Methodik muss ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Verkehrsmodelle (Reisezeiten, Verkehrsstärken etc.) und der Unzuverlässigkeit in Form der Standardabweichung der Reisezeitverteilung hergestellt werden. Aufgrund unterschiedlicher Forschungsstände und Zusammenhänge werden die drei Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße getrennt betrachtet. Für Straßenverkehr gehen wir von der Annahme aus, dass die Unzuverlässigkeit (in Bezug auf die Standardabweichungen der Reisezeitverteilung) eine Funktion der relationsbezogenen Fahrzeiten ist (inverse Geschwindigkeit, siehe 6.2: Niederlande, USA). Nach unserem besten Wissen, wurden solche Regressionsbeziehungen noch nicht für den

Schienenverkehr oder Binnenschifffahrt geschätzt, hier wären auch andere Einflussgrößen als die inverse Geschwindigkeit nötig.

Unter der weiteren Annahme, dass sich das Verkehrssystem in einem (langfristigen) Gleichgewicht befindet, können wir voraussetzen, dass alle verwendeten Routen zwischen einem bestimmten Quelle-Ziel-Paar die gleichen Reise-/Fahrzeiten haben. Daher können wir die Reise-/Fahrzeiten zwischen Quelle und Ziel heranziehen. In dem Post-Processing Schritt bestimmen wir daher nur die schnellsten Pfade zwischen allen Quelle-Ziel-Paaren im Netzwerk auf Basis der Reisezeiten im Equilibrium und berechnen direkt die Standardabweichungen unter Verwendung des Moduls für die Unzuverlässigkeit. Die Reise-/Fahrzeiten zwischen Quelle und Ziel, Höhe der Unzuverlässigkeit und Reise-/Fahrkosten werden dann mit der Anzahl der Quelle-Ziel-Fahrten multipliziert und zur Verwendung in der Nutzen-Kosten-Analyse (mit den Werten von der P-Seite) monetarisiert.

Straße (Personen- und Güterverkehr)

Das Modell für die Unzuverlässigkeit ermittelt die Standardabweichung der Route (oder Quelle-Ziel-Relation) als Funktion der Reise-/Transportzeit der Route. Wie aus der Literatur aus empirischen Studien (u.a. in den USA und den Niederlanden) ersichtlich, besteht eine nahezu lineare Beziehung zwischen der relationsbezogenen Standardabweichung und der relationsbezogenen Reise-/Transportzeit (T) geteilt durch die Fahrtstrecke (D). Mit anderen Worten, die relationsbezogenen Standardabweichung (von T/D) ist eine (fast) lineare Funktion des Kehrwerts der durchschnittlichen Geschwindigkeit auf der Strecke (T/D). Die Vorhersagekraft dieser empirisch gefundenen Beziehungen, beschrieben durch die R²-Statistik, reichen von 0,6663 für den Straßenverkehr (USA: Mahmassani, 2011), bis 0,8908 (Niederlande: Hellinga, 2011).

Aufgabe ist es, für Deutschland diesen Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeit und der streckenbezogenen Reisezeit für Deutschland zu ermitteln. Es müssen daher die entsprechenden Regressionsgeraden für die Standardabweichung (S) in Abhängigkeit der inversen Geschwindigkeit (T/D) geschätzt werden.

a. Vergleich mit pauschalem Aufschlag

In Methode 1 wird die Zuverlässigkeit als Standardabweichung der Reisezeiten geschätzt mit einem einfachen Modell das den empirisch beobachteten linearen Zusammenhang zwischen inverser Geschwindigkeit (Reisezeit/Entfernung) und Standardabweichung auf prognostizierte Reisezeiten in der Zukunft anwendet.

Dies ist nicht dasselbe wie der in einigen Ländern angewendete Aufschlag von z.B. 25% auf den Reisezeitnutzen, weil

- die Regressionsgleichung je Straßentyp eine andere ist
- die Regressionsgerade ihren Ursprung nicht bei Reisezeit und Entfernung 0 hat (anders ausgedrückt, in der Regressionsgleichung $S = a + b (T/D)$ ist a ungleich 0)
- der Zuverlässigkeitsnutzen desselben Reisezeitgewinnes auf kleinen Abständen viel höher ist als auf großen Abständen, da nicht die Reisezeit selbst, sondern die Reisezeit durch Abstand erklärend ist. Dies bildet die Realität viel besser ab als ein prozentueller

Aufschlag auf den Reisezeitnutzen; auf großen Abständen hat ein Reisezeitgewinn von etwa 5 Minuten natürlich viel geringere Auswirkungen auf die Variabilität als auf kleinen Abständen.

b. Plausibilität

Ein Modell ist als valide anzusehen, wenn seine Gültigkeit empirisch beobachtet wird und es eine inhaltliche Erklärung für den beobachteten Zusammenhang gibt. Ohne diese Erklärung ist es nicht möglich, die Grenzen der Gültigkeit zu benennen. Außerdem besteht die Gefahr, dass der beobachtete Zusammenhang in der Zukunft nicht mehr besteht.

Die empirische Beobachtungen sind in diesem Bericht im Kapitel 6.2 zusammengefasst (Arbeiten von Hellinga, 2011, TRB SHRP2, 2011).

Der Zusammenhang ist auch inhaltlich plausibel: Ein linearer Zusammenhang mit der inversen Geschwindigkeit bedeutet, dass der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Standardabweichung durch eine Hyperbelfunktion beschrieben werden kann: niedrige Geschwindigkeiten = Stau = hohe Standardabweichung, hohe Geschwindigkeiten = freier Verkehrsfluss = kleine Standardabweichung.

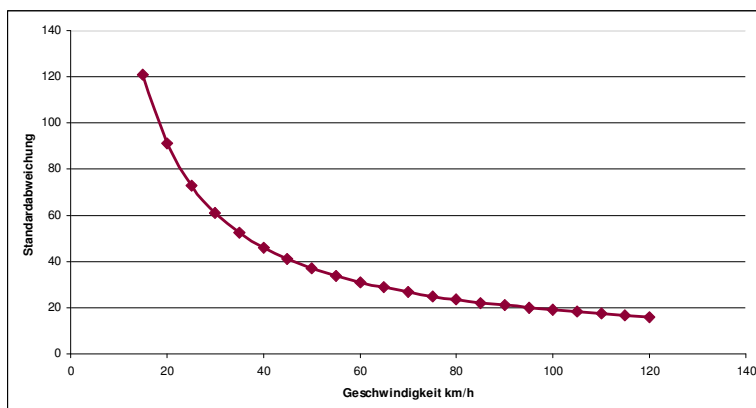


Abbildung 12: Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Standardabweichung von T/D bei linearer Beziehung zwischen T/D und Standardabweichung (fiktive, idealisierte Daten)

Auch die Form der Kurve ist plausibel: Der Unterschied zwischen 120 km/h und 100 km/h ist recht klein, während der Bereich unter 30 km/h empfindlich reagiert: kleine Unterschiede in der Reisegeschwindigkeit gehen einher mit großen Unterschieden in der Zuverlässigkeit. Bei so niedrigen Geschwindigkeiten (auf Autobahnen) erreicht die Verkehrsstärke die Kapazität und der Verkehr bricht zusammen (Stau). Kleine Unterschiede in der Verkehrsmenge bewirken dann große Unterschiede in der Reisezeit: einige Pkws mehr oder weniger können dazu führen, dass der Verkehr in einen Fall langsam aber gleichmäßig strömt und im anderen Fall vollständig zusammenbricht. Diese geringen Fahrzeugschwankungen sind genau die unerwarteten, stochastischen Ereignisse aus der gewählten Definition für Zuverlässigkeit.

Trotz der inhaltlichen Plausibilität und den bereits in der Literatur nachgewiesenen Zusammenhängen empfehlen wir, dass eine neue Untersuchung auf Basis deutscher Daten

durchgeführt wird, um festzustellen, ob eine lineare Beziehung (oder eine andere) auch für Deutschland geeignet ist.

c. Klassenbildung über Straßentypen

Aus den Plausibilitätserwägungen ist abzuleiten, dass der beschriebene Zusammenhang nicht allgemeingültig ist. Auf einer Autobahn mit Reisegeschwindigkeiten von 50 km/h besteht ein ernsthaftes Problem, während 50 km/h in einer Wohnstrasse, eine hohe Geschwindigkeit darstellt. Die Geschwindigkeit soll in Methodik 1 als Proxyvariable für die (unbekannte) Überlastung des Verkehrssystems benutzt werden; das ist natürlich nur sinnvoll, wenn diese nicht bereits anders (durch gesetzliche Höchstgeschwindigkeit) limitiert ist.

Die Regression muss daher für verschiedene Klassen von Straßentypen separat ausgeführt werden.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass für jede mögliche Höchstgeschwindigkeit eine eigene Klasse gebildet werden muss. Autobahnen mit 100 oder 120 km/h Höchstgeschwindigkeit weichen im oberen Bereich kaum voneinander ab: die Standardabweichung ist für 100 oder 120 km/h ungefähr derselbe Wert. Auch umgekehrt ist zu erwarten, dass diese Autobahnen bei Stau ein in etwa gleiches Verkehrsbild zeigen. Die Geschwindigkeit wird im Staufall nämlich nur noch durch den erforderlichen Abstand zwischen den Fahrzeugen beeinflusst. Es ist sicher nicht so, dass auf Autobahnen mit höheren Geschwindigkeitsbegrenzungen auch höhere Geschwindigkeiten im Stau erreichbar wären.

Betrachtet man zunächst nur Straßen mit Geschwindigkeitsbegrenzung, dann ist anzunehmen, dass eine Bildung von drei Klassen ausreichend ist:

- Bundesautobahnen und autobahnähnliche Bundesstraßen,
- Sonstige Bundesstraßen und andere Fernstraßen
- Sonstige (Stadtstraßen und Landstraßen mit lokaler Bedeutung)

Diese aufgrund von a-priori-Annahmen und Erfahrungen in anderen Ländern erstellte Klassenbildung ist bei der Modellschätzung zu testen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass sich im deutschen Kontext andere Unterschiede zeigen, etwa erklärt durch den Abstand zwischen Ausfahrten, Anzahl der Fahrstreifen oder automatischer Verkehrsbeeinflussung. Auch ist nicht ausgeschlossen, dass sich für Deutschland ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen inverser Geschwindigkeit und Standardabweichung zeigt. Bei der empirischen Ableitung der Regressionsgleichung muss daher für diese Rahmenbedingungen eine Empfindlichkeitsanalyse stattfinden und eventuell entschieden werden, mehr oder andere Klassen zu bilden oder eine nicht-lineare Funktion zu schätzen.

Man könnte auch für verschiedene Mischklassen (z.B. 60 % Autobahn, 40 % Sonstiges) eine eigene Funktion schätzen und dann die einzelnen Quelle-Ziel-Relationen jeweils einer Mischungsklasse zuordnen. Wir empfehlen in jedem Fall Vergleichsrechnungen zu erstellen (Gemittelte Funktionsparameter versus direkt für eine Relation geschätzte Parameter).

d. Unbegrenzte Höchstgeschwindigkeit

Besondere Aufmerksamkeit verdient die unbegrenzte Höchstgeschwindigkeit auf vielen deutschen Autobahnen – ein Phänomen, das in den ausländischen Datensätzen nicht vorkommt. Es ist nicht auszuschließen, dass die Standardabweichung in sehr hohen Geschwindigkeitsbereichen (> 140 km/h) ganz anderen Gesetzen folgt und keinen linearen Zusammenhang mehr beschreibt. In diesem Fall wären die Berechnungsmethoden zu verändern. Eine naheliegende Möglichkeit wäre es die Regressionsgleichung hierauf anzupassen. Das BMVBS könnte aber auch entscheiden, den Reisezeitvariabilität in diesen sehr hohen Geschwindigkeitsbereichen (z.B. Erwartung ist mit 200 km/h von Berlin nach Hamburg fahren zu können, aber es konnten „nur“ 160 km/h erreicht werden) wegen der offensichtlichen Fehlsteuerung keine planerische Relevanz zuzukennen: Projekte die zu sehr schlechten Auslastungen von Autobahnen führen würden dann in der Kosten-Nutzenanalyse bevorzugt, gleichzeitig kann es immer nur wenig Fallzahlen betreffen. Ein weiterer Grund diese sehr hohen Geschwindigkeiten unberücksichtigt zu lassen ist, dass sie in den gängigen Modellen kaum modellierbar sind. Dies ist im Grunde eine politische Entscheidung. Falls man diesem Gedankengang folgt, dann müssten die Daten so bearbeitet werden, dass Werte über 130 km/h auf 130 km/h begrenzt werden, und zwar sowohl in den Modellresultaten als auch in den empirischen Daten, die der Modellschätzung zugrunde liegen.

e. Vorbereitung der Modellschätzung: Auswahl der Routen und Datenquellen

Um die Parameter in der Regressionsgleichung zu schätzen ist es erforderlich, für verschiedene Routen unterschiedlicher Länge über verschiedene Straßentypen und über einen längeren Zeitraum hinweg Reisezeitdaten zu sammeln.

Eine Route ist dabei definiert als eine durch viele Verkehrsteilnehmer tatsächlich gefahrene Strecke über eine relevante Entfernung (mehr als 5 km). Eine Route kann einen einzelnen Abschnitt auf der Autobahn bedeuten, aber auch mehrere Abschnitte von der Auffahrt auf die Autobahn bis zur Ausfahrt¹⁶. Für die Modellschätzung kommen nur Routen in Frage für die alle Teilstrecken über dieselbe Straßenklasse führen. Führen Quell-Ziel-Beziehungen über mehrere Straßenklassen, muss die Gesamtelation in die einzelnen Routen zerlegt werden.

Als Datenquellen für die Modellschätzung kommen automatische Geschwindigkeitsmessungen auf Autobahnen¹⁷ mittels Induktionsschleifen in Frage Die Reise-/Transportzeit von

¹⁶ Zum Beispiel für das Straßentyp Autobahn besteht eine Route aus verschiedenen Autobahnabschnitte (wobei ein Abschnitt von einer Autobahnzufahrt zur nächsten Autobahnausfahrt läuft). Routen sind basiert auf wirkliche Reisen von Reisenden, aber nur das Teil der Reise das auf einem einzigen Straßentyp (z.B. Autobahn) stattfindet wird hier gebraucht für die Schätzung der Regressionsgleichung. In der Implementierung für die NKA kann es auch Routen geben die mehrere Straßentypen gebrauchen. Die Auswahl der Routen sollte so divers wie möglich sein, also kürzere und längere Routen, Ballungsgebiete und ländlicher Raum, auf einer Autobahn bleibend und über verschiedene Autobahnen. Hierdurch entsteht die nötige Vielfalt die eine verlässliche Regression ermöglicht.

¹⁷ In Friedrich et al. (2011), werden solche Fahrzeitdaten (für 3- oder 15-Minuten Intervalle) für das deutsche Autobahnnetz und das städtische Netz in Hamburg verwendet um Zuverlässigkeit im Straßennetz zu analysieren. Dabei werden aber andere Quantifizierungen von Zuverlässigkeit gebraucht (eine Aufnahme in Transportmodelle und in die NKA war kein Ziel dieser Untersuchung für die Bundesanstalt für Straßenwesen) als die Standardabweichung. Für die gewählte Kenngrößen für Zuverlässigkeit wurden Funktionen ermittelt, die die Verbindungsqualität in Qualitätsstufen A bis F ausdrücken (diese Funktionen werden "Bewertungsfunktionen" genannt, beinhalten aber keine

Streckenabschnitten können mittels des trajectory Verfahrens/ Sektionsmessung (siehe S. 89-90) zusammengefasst werden, um die Reise-/Transportzeit von Routen zu erhalten. Aber auch Anbieter von GPS-Trackdaten, also etwa TomTom (Daten der eigenen Navigationsgeräte), Navteq (Daten von Nokia-Telefonen) oder Google (Daten von Android-Telefonen) stellen mögliche Datenquellen dar. In den Niederlanden gibt es auch Anbieter die Daten von Flottentrackingsystemen anonym aufbereitet anbieten. Pure GSM-Daten sind wegen der niedrigeren zeitlichen (Moment von Kontakt mit Basisstation) und räumlichen Auflösung ungeeignet. Ergänzend können Daten von Dauerzählstellen herangezogen werden, die auch Geschwindigkeiten messen sowie Bluetooth- oder Kennzeichenerfassungstudien.

Wenn möglich, sollten Daten zu Wetter, Baustellen, großen Sonderveranstaltungen und Unfällen hinzugefügt werden sowie Informationen zu Verkehrsaufkommen (Pkw und Lkw) und die Eigenschaften der Straße (z. B. Anzahl der Fahrspuren, Kapazität) je Straßentyp. Damit werden mehr Daten gesammelt als für die Schätzung der Regressionsgleichung $S=a+b(T/D)$ benötigt werden, so dass man in der Abschätzung testen kann, ob weitere erklärende Variablen einbezogen werden sollten.

f. Tatsächliche Modellschätzung

Nach den oben beschriebenen Vorarbeiten beginnt die eigentliche Schätzung der Regressionsgleichungen.

Die Daten der gesammelten Routen werden verteilt in 15-min Intervalle¹⁸, wobei jedes Intervall mehrere Messpunkte (an verschiedenen Tagen) hat und damit eine eigene Reisezeitverteilung mit einem Mittelwert und einer Standardabweichung hat. Es werden also alle Reisezeiten auf einer Route über viele Tage und Wochen hin beobachtet und jeweils die Reisezeiten derselben Tageszeit zusammengefasst zu einem Mittelwert und Streuung. Theoretisch liegen je Route 96 Intervalle mit ihren Parametern vor, wobei vor allem in der Nacht für einige Intervalle zu wenige Daten vorliegen könnten um verwendbar zu sein. Diese Analyse muss für verschiedene Wochentage und Monate separat ausgeführt werden, um nicht 8-Uhr-Werte von Sonntagen mit denen von Montagen zu vergleichen.

Wir gehen hier davon aus, dass Reisende zwar die durchschnittliche Fahrzeit pro Monat und Wochentag kennen (die in der NKA in den Nutzengewinnen aus der Reise-/Transportzeit enthalten sind), dass es aber zusätzliche stochastische Schwankungen um diese Durchschnittswerte gibt, die bei der Erweiterung der NKA in die Standarddefinition aufgenommen werden müssen. Die Definition von Zuverlässigkeit auf der Grundlage der von den Reisenden erwarteten Reisezeit, steht im Einklang mit der von uns übernommenen Definition der Zuverlässigkeit von Hellinga (2011). Außerdem greift sie die Idee von John Bates

monetäre Bewertung). Auch wurden die Einflussgrößen auf die Zuverlässigkeit untersucht (Verkehrsbelastung ist am wichtigsten für die Autobahnen, die Anzahl der Lichtsignalanlagen pro Kilometer im innerstädtischen Hauptverkehrsstraßennetz).

¹⁸ Es ist nicht erforderlich, um bei langen Routen, welche verschiedene Tageszeiten umfassen, diese in unterschiedlichen 15-min Intervalle zu berücksichtigen, da nicht der tatsächliche Verkehr zu verschiedenen Tageszeiten geschätzt wird, sondern eine allgemeine, infrastrukturbezogene Konstante, die die Beziehung Unzuverlässigkeit - Reisezeit abbildet, und für die es nötig ist, Wertegruppen verschiedener Verkehrsbelastung (=Anfangszeiten) zu bündeln.

bei dem Experten-Workshop auf, dass die Zuverlässigkeit Abweichungen von der Reisezeit messen sollte, welche gut informierte Reisende im Schnitt erwarten können.

Indem die Datenpunkte der normierten durchschnittlichen Fahrzeit für die Route (T/D) und der Standardabweichung (S) dieser normierten Reise-/Transportzeit verwendet werden, kann das lineare Regressionsmodell $S = a + b (T/D)$ auf diese Daten angepasst werden, wobei a und b Parameter sind, die in der Regression geschätzt werden. Jeder Punkt in dieser Abbildung steht für einen bestimmten Zeitraum an einem Tag (z.B. von 8.00 bis 08.15 Uhr) auf einer bestimmten Route. Zur Vorbereitung der Daten, auf denen dieser Graph geschätzt wird, berechnet man zunächst die durchschnittliche Reise-/Transportzeit und die Standardabweichung der Reise-/Transportzeit für jede Kombination aus Zeitintervall (15-Minuten-Intervall) und Route, unter Verwendung von Daten für alle Tage oder alle Werkzeuge in einem Jahr (oder mehrere Jahre). Im Prinzip wäre es auch möglich, verschiedene Graphen für unterschiedliche Tageszeiten (Stoßzeiten am Morgen und am Abend, Rest des Tages, Nacht) zu schätzen. Dies wurde allerdings noch nicht durchgeführt (wir empfehlen daher zu testen, ob diese Funktionen signifikant voneinander abweichen).

Wir schlagen vor, diese Beziehung mit empirischen Daten aus Deutschland aus einem der letzten Jahre (z.B. 2011) zu schätzen. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass extreme Ereignisse oder Katastrophen, wie Schneestürme, Überschwemmungen oder schwere Zwischenfälle, einen großen Einfluss auf die Standardabweichung haben können, wie in Abbildung 13 dargestellt. Extreme Ereignisse führen zu einmalig extrem hoher Reisezeit, erhöhen die Durchschnittsreisezeit aber nur geringfügig. Die Standardabweichung ist stärker erhöht als die mittlere Reisezeit, da in diese die quadratische Abweichung eingeht. Daher empfehlen wir, diese extremen Ereignisse aus den Daten zu entfernen, bevor die Funktion angepasst wird.

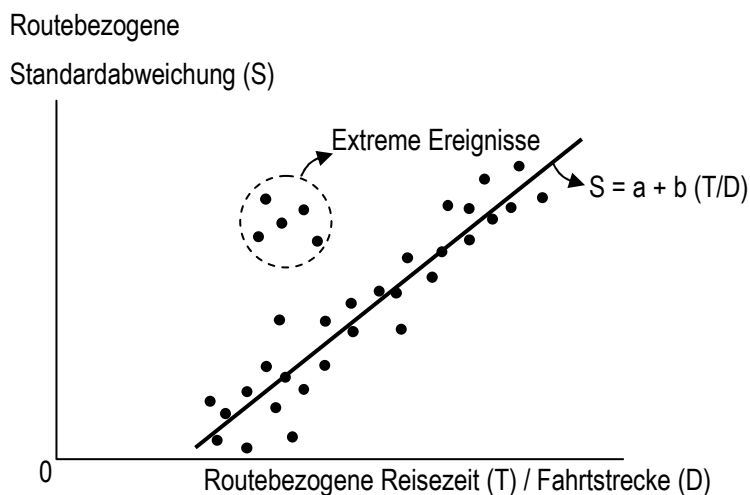


Abbildung 13: Zuverlässigkeitsmodell

g. Alternative: Unzuverlässigkeit als Funktion des Zuflusses

Eine Alternative zum oben beschriebenen Ansatz bestünde darin, ein Modell für die Unzuverlässigkeit als Funktion des Zuflusses zu verwenden. Allerdings gibt es einige Nachteile bei diesem Ansatz, wie Hellinga (2011) aufweist. Zunächst einmal muss das Modell für jede Strecke kalibriert werden, wobei nicht bekannt ist, ob die Parameter auf andere Strecken übertragen werden können. Zweitens ist unklar, wie sich das Modell bei den verschiedenen Zu- und Ausfahrten verhält. Drittens haben Maßnahmen, die keinen Einfluss auf den Zufluss haben, keinen Einfluss auf die geschätzte Zuverlässigkeit der Reise-/Transportzeit. Daher können wir diesen Ansatz nicht empfehlen.

h. Anforderung an die Verkehrsmodelle

Um die hier beschriebene Methode umsetzen zu können ist es minimal erforderlich die folgenden Daten aus dem Verkehrsmodell zu erhalten:

- Quell-Ziel-Matrix pro Verkehrsträger und Fahrtzweck, bei Personenverkehr am besten für Anzahl Reisende, ersatzweise Anzahl Fahrzeuge und Anwenden eines Korrekturfaktors
- Matrix mit Abständen zwischen allen Verkehrszellen je Verkehrsträger
- Matrix mit Reisezeiten zwischen allen Verkehrszellen je Verkehrsträger
- Matrix mit Anteil (in Beziehung auf Reiseweite und auf Reisezeit) der verschiedenen Straßenklassen auf der Route zwischen jeweils zwei Verkehrszellen
- Wenn möglich benutzte Routen mit ihren Anteilen am Gesamtverkehr der Relation

Bessere Ergebnisse sind zu erwarten wenn nicht nur eine, sondern alle Routen auf die Verkehr umgelegt wird verfügbar sind mit ihren Eigenschaften Abstand, Reisezeit und Anteil Straßenklassen, am besten auch noch den relativen Anteil in der Umlegung.

Die durch Verkehrsmodelle generierten Reisezeiten sind in der Regel nicht direkt geeignet, um als Eingangsgröße im Regressionsmodell Verwendung zu finden. Gebräuchliche statische Umlegungsmodelle gehen initiiell von denen auf Basis der geltenden Höchstgeschwindigkeit abgeleiteten Free-Flow-Geschwindigkeiten aus und legen den Verkehr aus der Quell-Ziel-Matrix um auf eine oder mehrere Routen, welche auf Basis dieser Geschwindigkeiten die zeitlich kürzesten sind. Oft werden dabei auch noch andere Widerstandswerte, wie etwa Kosten mitberücksichtigt. Streckenabschnitte, Knotenpunkte und Kreuzungen, welche hierdurch überbelastet werden, erfahren dann eine Reduktion der Geschwindigkeit, woraufhin erneut eine Umlegung erfolgt – idealerweise bis ein Gleichgewicht erreicht wurde, oft wird aus praktischen Gründen aber bereits eher abgebrochen.

Durch dieses Vorgehen kann die Verkehrsmenge recht genau modelliert werden; für diesen Einsatzzweck sind statische Umlegungen daher zu Recht Stand der Technik. Was die Reisezeit betrifft, werden jedoch drei relevante Fehler gemacht:

- Das Geschwindigkeitsniveau ist insgesamt zu hoch. Solange die Verkehrsmenge ausreichenden Abstand zur Kapazität hat, rechnet das Modell mit nur sehr kleinen Verzögerungen, in der Stadt also Geschwindigkeiten von angenähert 50 km/h, und

berücksichtigt keine Aufenthalte an roten Verkehrslichtern oder Warten um anderen Vorfahrt zu geben. Die echten Geschwindigkeiten werden damit bis zu 50% überschätzt. Die innerstädtisch zu hohen Geschwindigkeiten führen indirekt auch zu hohen Geschwindigkeiten auf überbelasteten Autobahnabschnitten, da die Umlegung über mehrere Iterationen Verkehr aus diesen Autobahnabschnitten wegdrängt und die dazu nötige Geschwindigkeit im Gleichgewicht mit der auf parallelen Strassen sein muss.

- Statische Modelle haben die Neigung, eine sehr hohe Verzögerung an der Stelle des Netzwerkes zu erzeugen wo ein Engpass entsteht. In Wirklichkeit jedoch entsteht ein Stau bei zu hohem Verkehrsangebot vor diesem Engpass und wächst – als eine Art Warteschlange – rückwärts. Je länger die überhöhte Nachfrage anhält umso mehr Fahrzeuge kommen in diese Warteschlange und je länger dauert der Stau. Im Engpass selber strömt der Verkehr in der Regel wieder gut – da dort weniger Fahrzeuge ankommen.
- Abhängig von der konkreten Implementation werden in statischen Modellen oft die Verzögerungen auf Straßenabschnitten über- und auf Knotenpunkten unterschätzt. Hierdurch und auch durch die verkehrte Lage von Staus wird der Rückschlag auf Strassen die selbst kein Überangebot kennen nicht berücksichtigt.

Optimale Lösung für diese Probleme ist der Einsatz von dynamischen Umlegungsmodellen. Diese Modellform legt je Zeiteinheit (häufig pro Minute, kann aber auch 5 oder 10 Minuten sein) denjenigen Verkehr auf das Netzwerk um, der zu der jeweiligen Tageszeit auch tatsächlich losfährt. Dazu ist also auch eine dynamisierte Quell-Ziel-Matrix nötig, worin neben Verkehrsträger und Fahrtziel auch die Abfahrtszeit simuliert wird – bei guten Modellen auch abhängig von der Verkehrsbelastung, wodurch Menschen die Hauptverkehrszeit meiden. Der dem Netzwerk Stück für Stück zugeführte Verkehr sucht sein Ziel auf und berücksichtigt dabei aktuelle Netzwerkeigenschaften (Geschwindigkeit und Restkapazität). Wo die Kapazität unzureichend ist, bilden sich wie in der Wirklichkeit Warteschlangen.

Diese Modelle sind sehr aufwändig und für ein gesamtdeutsches Modell daher nicht die erste Wahl.

Mikroskopisch-dynamische Modelle, welche jedes Fahrzeug einzeln folgen, sind sehr aufwändig und für ein gesamtdeutsches Modell daher nicht die erste Wahl. Der häufigste Kompromiss ist eine makroskopisch-dynamische Umlegung. Hierzu bestehen verschiedene Techniken, die alle ein Grundprinzip gemeinsam haben: der Verkehr wird nicht auf dem Niveau einzelner Fahrzeuge simuliert, sondern es wird ausgegangen von einer statischen Umlegung und nur dort wo Überlastung auftritt Fahrzeuge in eine Wartereihe gesetzt, wobei hierbei alle Fahrzeugen innerhalb eines Zeittaktes als Pakete zusammengefasst werden.

Hierzu werden Heuristiken aus Strömungsdynamik und anderen Wissenschaften benutzt werden, um mit bedeutend weniger Rechenaufwand zu (beinahe) denselben Resultaten zu gelangen. Solche Modelle sind prinzipiell für ganz Deutschland machbar, wenngleich noch immer mit einem ungleich höheren Aufwand hinsichtlich Rechenkapazität und Datenverfügbarkeit (etwa Kreuzungsgeometrien). Weiterhin ist darauf zu achten, dass eventuelle Zuschläge für Kraftstoff- und andere Kosten, die bei der Umlegung sehr sinnvoll sind, für diese Analyse nicht einbezogen werden. Aus den so ermittelten tatsächlichen Reisezeiten müssen Korrekturfaktoren abgeleitet werden, die später bei der Anwendung des Modells genutzt werden, um die modellierten

Reisezeiten in „echte“ Zeiten umzusetzen. Unser Vorschlag, für die Umrechnung der Modellreisezeiten Korrekturfaktoren zu verwenden, ähnelt dem bisherigen BVWP-Verfahren, bei dem die Reisezeiten nachträglich durch Q-V-Beziehungen aus jeweils den ermittelten Belastungen je Streckenabschnitt und anschließenden Addition berechnet werden. Dabei werden die Geschwindigkeiten/Reisezeiten allerings auf Stundenbasis ermittelt (siehe BMVBS, 2005 S. 150). Dieses Verfahren ist eine attraktive Alternative. Wahrscheinlich ist es sinnvoll, sowohl für die Zuverlässigkeit als auch für die Bewertung dieselbe Reisezeitumrechnung zu benutzen. Der Vorteil des alten BVWP-Verfahrens besteht darin, dass man keine empirischen Reisezeitmessungen mehr benötigt.

Das für den Bundesverkehrswegeplan eingesetzte Umlegungsmodell DRUM errechnet die Netzwerkzustände für verschiedene Zeiteinheiten und legt den Verkehr „3D“ um, also bei langen Routen entsprechend den zu erwartenden Verzögerungen bei Passage des entsprechenden Segments. Der Vorteil dieser Form der Dynamisierung liegt beim Erzeugen von möglichst realistischen Routen. In Bezug auf Reisezeiten kennt sie jedoch ähnliche Ungenauigkeiten wie traditionell-statische Umlegungen.

Um belastbare Resultate hinsichtlich der Zuverlässigkeit zu erhalten und systematische Fehler zu vermeiden, ist bei dieser Umlegung eine Transformation der Reisezeiten in reale Zeiten nötig.

Je gewähltem Straßentyp sollte daher nicht nur empirische Reisezeit, Abstand und Standardabweichung betrachtet werden, sondern für die jeweils gewählte Route auch die modellierte Reisezeit für den Ist-Fall in der jeweils passenden Zeitperiode (gleiche Abfahrtszeit).

i. Modellierung der Standardabweichung über mehrere Straßenklassen hinweg

Zur Verwendung in der standardisierten Bewertung ist es nötig, für jeden Eintrag in der Quell-Ziel-Matrix einen Zuverlässigkeitswert zu ermitteln und diesen dann mit der Anzahl Personen für diese Relation zu multiplizieren. Falls in der Quell-Ziel-Matrix lediglich Fahrzeuge und keine Personen verfügbar sind, ist diese zunächst mit der durchschnittlichen Anzahl Personen / Fahrzeug zu multiplizieren.

Je nachdem welchen Output das Verkehrsmodell liefert, werden eine oder mehrere Routen je Quell-Ziel-Relation betrachtet.

Für jede betrachtete Route sind nun drei Größen und eine Gleichung zu ermitteln

- Reisezeit
Benötigt wird die Gesamtreisezeit der Route von Quelle nach Ziel. Die rohe Reisezeit wird in der Regel von dem Umlegungsmodell geliefert und entsprechend dem oben beschriebenen Verfahren (Korrekturfaktoren) in eine echte Reisezeit transformiert.
- Abstand
Auch hier wird der Gesamtabstand von Quelle zum Ziel benötigt, und zwar der Abstand im Netzwerk (und nicht der Luftlinienabstand). Auch diese Größe wird dem Verkehrsmodell entnommen.
Regressionsgleichung
Dies sind die Parameter a und b in der Gleichung $S = a + b (T/D)$. Für die Ermittlung der Regressionsgeraden bei Routen mit gemischten Straßenklassen wird ein gewichtetes arithmetischer Mittelwert berechnet der a- und b-parameter der einzelnen

Regressionsgleichungen der verschiedenen Straßenklassen. Als Gewicht wird die Wegelänge (Reiseweite) der entsprechenden Klasse verwendet. Der hierbei gemachte Fehler ist kleiner als bei einer Gewichtung mit der Reisezeit.

- Anzahl Reisende auf dieser Route je Fahrtzweck
Falls das Verkehrsmodell Informationen zu der Verteilung auf die verschiedenen Routen liefert, werden die Personen danach verteilt, ansonsten werden die Personen in der Quell-Ziel-Matrix über die Routen gleich verteilt.

Nun kann die Standardabweichung einfach errechnet werden aus den resultierenden Parametern a und b für die Route sowie der Gesamtreisezeit und -abstand als $S = a + b (T / D)$. Diese Standardabweichung wird nun mit den Reisenden je Fahrtzweck und den zugehörigen Value of Reliability multipliziert um den Nutzenwert zu erhalten.

j. Begrenztes Anwendungsgebiet dieser Methode

Diese Methode basiert auf dem Zusammenhang zwischen Überbelastung der Verkehrsinfrastruktur und der Geschwindigkeit und ist daher gültig für alle Maßnahmen, die Überbelastung versuchen zu beseitigen. Das sind insbesondere:

- Neubauvorhaben (neue Straßenverbindungen),
- Erhöhung der Kapazität bestehender Straßenverbindungen durch Ausbau der Strecke oder Freigabe des Seitenstreifens,
- Erhöhung der Kapazität von Knotenpunkten (z.B. Fly-Over) durch Ausbau oder weitere Maßnahmen (z.B. leistungsfähigere Ampelanlage)
- Reduzierung des Verkehrsaufkommens auf überbelasteten Strecken (z.B. Verkehrsmanagement)

Die Methode ist jedoch ungeeignet für Maßnahmen, welche direkt die Geschwindigkeit beeinflussen oder die Zuverlässigkeit auf anderem Wege direkt verbessern, zum Beispiel:

- Niedrigere Höchstgeschwindigkeit mit dem Ziel durch gleichmäßigeren Verkehrsfluss mehr Kapazität zu erzielen,
- Verkehrsdosiereinrichtungen mit dem Ziel einer Strecke exakt die Anzahl der Fahrzeuge zuzuteilen die diese abwickeln kann,
- Fahrstreifen auf denen eine staufreie Verbindung garantiert wird gegen Bezahlung etwa mit dynamischen Tarifen um den Verkehr zu begrenzen.

Die Methode reagiert im Prinzip neutral auf Netzeingriffe, die die Reisezeit verringern indem eine Abkürzung realisiert wird, z.B. Schließen von missing links, Talbrücken oder Tunnel. In diesen Fällen wird in der Nutzen-Kostenanalyse zwar ein Reisezeitgewinn erzielt, aber kein direkter Zuverlässigkeitsgewinn, da die Reisezeit und der Abstand gleichermaßen sinken und der Quotient T/D damit konstant bleibt. Dies entspricht auch der Realität. Es ist in solchen Situationen wohl möglich, dass ein indirekter Zuverlässigkeitsgewinn erzielt wird, etwa wenn auf der alten, kurvigen Strecke nur eine niedrige Höchstgeschwindigkeit zulässig war, während auf der neuen Talbrücke eine höhere Geschwindigkeit zugelassen werden kann. Dann ist der

Reisezeitgewinn größer als die Reduktion des Abstandes und steigt damit rechnerisch die Zuverlässigkeit was hinsichtlich der Genauigkeit der Prognose sicherlich ein Grenzfall ist, aber jedenfalls die Richtung des Effekts zutreffend wiedergibt.

Das oben beschriebene Modul für die Unzuverlässigkeit stellt die Q-Seite der Zuverlässigkeit für den Einsatz in der NKA bereit. Das Modul liefert Vorhersagen für die Höhe der Unzuverlässigkeit bei einer bestimmten Maßnahmenvariante und dem Referenzfall. Bei der Anwendung von Methode 1 (und 2) im Straßenverkehr tendieren Reisezeitgewinne und Zuverlässigkeit immer in die gleiche Richtung (weil die Standardabweichung in Abbildung 11 nur von der Reisezeit abhängt). Für Neubau/Ausbau ist die Annahme, dass Zeit und Zuverlässigkeit sich in dieselbe Richtung ändern plausibel. Für eine Anpassung der Höchstgeschwindigkeit ist das oft unzutreffend. In Methode 3 werden wir diese exogene Relation nicht verwenden, so dass in dieser Methodik die Reisezeit zunehmen kann, während gleichzeitig Zuverlässigkeit vermindert wird. Methode 1 und 2 sind demnach nur für Aus- und Neubau geeignet, aber nicht für Veränderungen der Höchstgeschwindigkeit.

k. Praktische Implementation der Q-Seite für Straßenverkehr (Passagier und Fracht)

In unseren Vorschlägen für den Straßenverkehr in Deutschland werden Pkw und Lkw nicht getrennt. Allerdings wäre eine Unterscheidung besser, weil die Geschwindigkeiten von Pkw und Lkw anders sind (Ausnahme: bei Stau). Als Voraussetzung braucht man Daten, die diese Unterscheidung ermöglichen. Bei der Anwendung der Methode in den Niederlanden konnten Lkw und Pkw aufgrund der Datenlage nicht unterschieden werden. Deshalb wurden alle Kraftfahrzeuge ohne Differenzierung nach Fahrzeugtyp berücksichtigt. Wegen der geringeren Höchstgeschwindigkeit von Lkws hatte dies negative Auswirkungen auf die Genauigkeit der Ergebnisse. TomTom-Daten bieten hier auch keine Lösung, denn TomTom wird vor allem in Pkws gebraucht (nicht so viel in Lkws). Navteq wird oft in Lkws verwendet und als integriertes System in Pkws.

Vielleicht ist es in Deutschland möglich, in den automatischen Dauerzählstellendaten Pkws und Lkws zu trennen. In Friedrich et al. (2011) werden nur Pkw-Reisezeitdaten verwendet, also nach Entfernung der Lkws. Eine andere Möglichkeit wäre eine Begrenzung auf 90 km/h statt 130 km/h.

Nach den allgemeinen Erwägungen stellen wir hierunter die praktischen Schritte dar um je Verkehrsträger zu einer Berechnung der Q-Seite zu kommen.

- 1) Entwicklung einer Datenbank für Reise-/Transportzeit von Routen wie im Abschnitt „Modellschätzung: Auswahl der Routen und Datenquellen“ beschrieben.
- 2) Entfernen von extremen Ausreißern (z.B. 1% der Beobachtungen mit der längsten Fahrzeit).
- 3) Berechnung der durchschnittlichen Reise-/Transportzeit für jede Kombination von 15-Minuten-Intervallen, Wochentag (Montag, Dienstag, ...) und Monat (falls nicht genügend Daten vorhanden sind, dann wären auch Tages-Typ und Jahreszeit möglich).¹⁹ Jedes 15-

¹⁹ Wenn möglich wird auch ein Unterschied gemacht zwischen einigen Wetterklassen (basiert auf der Wettervorhersage) und Bauarbeitenklassen (basiert auf angekündigte Bauarbeiten).

Minuten-Intervall hat mehrere Messpunkte und bildet eine eigene Reisezeitverteilung mit einem Mittelwert und einer Standardabweichung. Insgesamt liegen pro Tag 96 Intervalle mit ihren Parametern vor. Routen dauern oft länger als 15 Minuten. Hierzu wird die in Kapitel 6 bei der Arbeit von Van Lint, Van Zuylen und Tu beschriebene Trajektmethode eingesetzt. Hierzu wird beobachtet, ob der Startmoment in einem der 15-Minutenintervalle liegt. Die 15-Minutenintervalle haben den Zweck in der Punktwolke ausreichend unterschiedliche Belastungstypen zu haben um die Regressionsparameter schätzen zu können. Bei der Anwendung kann das Niveau benutzt werden das das Verkehrsmodell liefert, wobei Stundenwerte sinnvoll erscheinen, Tageswerte wegen der dann nicht mehr abzubildenden Staus zur Hauptverkehrszeit jedoch nicht.

- 4) Schätzung der Regressionsgleichungen ($S = a + b (T/D)$), die die Standardabweichung von T/D je Route und 15-Minuten-Intervall erklären wie im Abschnitt „Tatsächliche Schätzung“ beschrieben.
- 5) Für die NKA von Infrastrukturprojekten wird nun die künftige Höhe (mit und ohne Projekt) für die Standardabweichung berechnet, indem die Ergebnisse für die kommenden Jahre aus den Verkehrsmodellen (Quelle-Ziel Fahrzeiten) in die Regressionsgleichungen eingegeben werden. Theoretisch muss dieses Verfahren auf alle Zellen in der Quell-Ziel-Matrix angewendet werden, es ist jedoch aus praktischen Gründen vertretbar, zuvor eine räumliche Selektion zu machen von Relationen die sicher nicht von dem Projekt betroffen sind und nur die verbleibenden Relationen zu berechnen. Für diese Relationen wird nun die Standardabweichung und daraus der Nutzenwert berechnet wie im Abschnitt „Modellierung der Standardabweichung über mehrere Straßenklassen hinweg“ beschrieben

Schienerpersonenverkehr

Unzuverlässigkeit im Bahnverkehr kennt andere Einflussgrößen als beim Straßenverkehr. Die realisierten Geschwindigkeiten haben auf der Schiene keinen direkten Zusammenhang mit der Streuung von Reisezeiten, da kapazitätsbedingte Staus im Bahnverkehr nur im Ausnahmefall und auch dann nur als Folge einer anderen Störung vorkommen.

Wir empfehlen als erklärende Größe für die Unzuverlässigkeit im Bahnverkehr die Standardabweichung der Reisezeit aus der Sicht des Fahrgastes bzw. des transportierten Gutes zu verwenden (und beispielsweise nicht die Verspätung von Schienenfahrzeugen). Dies ist methodisch sauberer als die reine Fahrplanabweichung, da so einerseits die Verspätung von beinahe leeren Fahrzeugen weniger schwer mitgewogen wird als die von sehr vollen Fahrzeugen und andererseits die Folgen für die Gesamtverbindung bestimmt werden: eine Verspätung bei im 10-Minutentakt fahrenden S-Bahnen ist wenig schwerwiegend, wenn die nächste S-Bahn bereits ankommt und auch bei Umsteigeverbindungen ist es wenig relevant wie viel zu spät ein Fahrzeug ankommt, sondern vielmehr ob der nächste Zug erreicht wird oder nicht.

Um diese Kenngröße zu ermitteln, muss in einem zweistufigen Modell zunächst die Fahrplanabweichung berechnet werden und anschließend die Folgen für die Fahrgäste bzw. transportierten Güter ermittelt werden.

a) Fahrplanabweichung

Die Fahrplanabweichung für den Referenzfall kann abgeleitet werden aus Statistiken über den tatsächlichen Zugumlauf.

Unserer Erwartung und Erfahrung nach ist die Fahrplanabweichung erklärbar aus den folgenden Komponenten:

- Störungen an Bahnhöfen
- Verzögerungen Ein- und Ausstieg
- Störungen Material und Infrastruktur
- Indirekte Verzögerungen durch andere Fahrzeuge auf der Strecke
- Anschlüsse (Eigenschaften der fahrplanmäßigen Anschlüsse, wie Übergang in Minuten, Korrespondenzanschluss und die Tatsache, dass auf einer Verbindung überhaupt umgestiegen werden muss).

Diese Komponenten sind ihrerseits wieder erklärbar durch

- Störungen an Bahnhöfen:
Funktion des Unterhaltungszustandes (für technische Störungen) plus
Funktion des Besetzungsgrades in Anzahl Züge je Gleis und Stunde (für
Kapazitätsgebundene Störungen; Aufschaukeln von zunächst kleinen Verspätungen zu
immer größeren)
- Verzögerungen Ein- und Ausstieg:
Funktion von Anzahl Fahrgäste/Kapazität
Kapazität ist wiederum eine Funktion der Anzahl und Breite der Türen sowie der
Leichtigkeit mit der ein/ausgestiegene den Raum freimachen können für folgende, also
Breite der Bahnsteige und Einstiegsraum in den Zügen.
- Störungen Material und Infrastruktur:
Funktion des Unterhaltungszustandes
Anzahl Weichen, höhengleiche Bahnübergänge, Signalanlagen die potentiell gestört sein
könnten
- Indirekte Verzögerungen durch andere Fahrzeuge auf der Strecke:
Funktion der freien Pufferzeiten um eigenen freien Fahrweg sowie der
Ausweichmöglichkeiten
Dies wiederum ist eine Funktion der Intensität (Anzahl Züge/Stunde) durch Kapazität
(Anzahl möglicher Züge / Stunde) mit einem Zuschlag für Zuggattungen
unterschiedlicher Geschwindigkeiten.
Die Kapazität kann erklärt werden durch Überholmöglichkeiten, Anzahl Gleise und
niveauungleiche Kreuzungsmöglichkeiten.
- Anschlüsse:
Direkt dem Fahrplan zu entnehmen.

Typische verkehrliche Maßnahmen haben demnach die nachfolgenden zu erwartenden Effekte:

- Neubaustrecke:
 - + Unterhaltungszustand Bahnhof und Strecke
 - + Ausreichende Kapazität für zu erwartende Zugfolge und Reisende
- Ausbaustrecke als Schnellfahrstrecke:
 - + weniger Weichen, höhengleiche Bahnübergänge etc.
 - + besserer Unterhaltungszustand
 - ohne Kompensation durch zusätzliche Gleise/Überholmöglichkeiten negativer Einfluss auf Kapazität (bei höheren Geschwindigkeiten auf ansonsten unveränderter Infrastruktur sind höhere Sicherheitsabstände nötig (in Blocksystemen müssen die Blockabschnitte wegen der längeren maximal möglichen Bremswege größer werden, auch bei Linienzugbeeinflussung oder ETCS werden die dynamisch auf Basis des aktuell errechneten Bremsweges ermittelten Abstände größer). Dieser Effekt wird noch verstärkt wenn Züge mit hoher Geschwindigkeit (etwa ICE) dieselbe Schiene nutzen wie Züge mit langsamer Geschwindigkeit, etwa Nahverkehrszüge oder Güterzüge).
- Ausbaustrecke als Elektrifizierung und/oder zusätzliche Gleise:
 - + weniger Weichen, höhengleiche Bahnübergänge etc.
 - + besserer Unterhaltungszustand
 - + zusätzliche Kapazität
- Überholgleis, niveaungleiche Kreuzungen (Überwerfungsbauwerke):
 - + höhere Kapazität
 - + weniger Abhängigkeit von Zügen untereinander
- Entfernen von niveaugleichen Bahnübergängen (oft in Kombination mit Ausbaustrecke):
 - + weniger Signalanlagen
 - + weniger Risiko von Störungen am Übergang

Aus diesen Erklärungsansätzen ist deutlich abzuleiten, dass Zuverlässigkeit im Modell erklärbar ist aus

- der Verkehrsnachfrage,
- dem Fahrplan,
- der verfügbaren Infrastruktur und
- dem rollenden Material.

Nur ein Teil der Verspätungen auf einer Strecke oder Knoten werden durch diese selbst verursacht; viele Verspätungen beginnen an anderer Stelle des Netzwerkes (Einbruchverspätungen) oder sind durch das rollende Material verursacht. Demgegenüber steht jedoch, dass Verspätungen, die im aktuellen Streckenabschnitt / Knoten entstehen, umgekehrt Einbruchverspätungen an anderer Stelle verursachen und dass die Folgen von Versagen von rollendem Material je nach Infrastrukturkonfiguration sehr unterschiedlich sein können (z.B. Blockiert ein stehendes Fahrzeug/ Zug den Zugablauf oder können andere Fahrzeuge passieren?)

Die *Verkehrsnachfrage* ist Ergebnis der klassischen und in der Bundesverkehrswegeplanung bereits eingesetzten Transportmodelle, wobei zu beachten ist, dass Personen- und Güterschienenverkehr hier zusammen betrachtet werden müssen, da sie teilweise dieselbe Infrastruktur benutzen.

Der *Fahrplan* ist natürlich für die Zukunftssituation noch nicht vollständig ausgearbeitet, es kann jedoch ersatzweise ein Fahrplan von heute verwendet werden in den die bekannten künftigen Anpassungen eingearbeitet werden.

Die *verfügbare Infrastruktur* ist in der Regel gerade Gegenstand des zu bewertenden Projektes und somit bekannt. Jedoch ist das Problem häufig ist dass in der sehr frühen Planungsphase eines Projektantrages die Details (Weichenanlagen, Signalanlagen etc) noch nicht auf dem für Simulationen nötigen Detailniveau bekannt sind und daher hierzu plausible Annahmen gemacht werden müssen.

Auch über das *rollende Material* sind eigentlich keine Informationen verfügbar, auch hierfür müssen daher Annahmen gemacht werden.

Die beschriebenen Mechanismen und Einflussgrößen sind hinsichtlich gegenseitiger Beeinflussung derart komplex, dass rein statistische Modelle (wie etwa Regressionen auf Querschnittsdaten) nur dann annähernd realistische Ergebnisse liefern können, wenn genügend Fälle unterschieden werden. Vorzuziehen ist daher eine Simulation, wie sie zum Beispiel die Software OpenTrack bietet.

Mit OpenTrack ist es möglich, mittels Monte-Carlo-Analysen zufällige Initialverspätungen und stationsbezogene Verspätungen in mehreren Simulationsdurchläufen auf die direkten und indirekten Auswirkungen auf Verspätungen der Züge zu testen. Auch wenn OpenTrack keine harte Obergrenze für Netzwerke kennt, ist das verwendete Prinzip der Mikrosimulation von einzelnen Zügen weder in Bezug auf die benötigten detaillierten Eingabedaten noch in Bezug auf die Computerressourcen auf das Durchrechnen kompletter Netze eines ganzen Landes ausgelegt. Typische Simulationen betreffen einzelne Linien, Bahnhöfe, Knotenpunkte oder maximal regional begrenzte Teilnetze.

Das Einrichten so eines Modells hinsichtlich Auswahl des Teilnetzes, Annahmen über Details der Infrastruktur und des rollenden Materials sowie der Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Komponenten und das Testen auf zunächst bekannten Daten und später anwenden auf Unzuverlässigkeitsberechnungen ist vielversprechend, aber auch sehr aufwendig.

b. Anwenden der Fahrplanabweichung auf Reisende

Für die Anwendung der Fahrplanabweichung auf Reisende empfehlen wir das Modell von van Oort (2011).

Das Verkehrsumlegungsmodell berechnet für jede Zelle in der Quell-Ziel-Matrix eine oder (in der Regel) mehrere Routen, um die Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückzulegen. Zu jeder Route ist auch die Anzahl Fahrgäste bekannt. So ein Modell ist Stand der Technik und wird für den Bundesverkehrswegeplan bereits eingesetzt.

Um die Zuverlässigkeitsberechnung hinzuzufügen, ist nun ein Modell notwendig, das die Ankunft dieser Fahrgäste am Bahnhof simuliert. Für selten fahrende Züge (zweimal pro Stunde oder noch weniger) ist dies eine Ankunftsverteilung mit einem Maximum von Ankommenden

von ungefähr 5 Minuten vor der fahrplanmäßigen Abfahrt. Bei in kürzerem Takt fahrenden Zügen nimmt der Anteil der gleichmäßig einströmenden Fahrgäste zu; ab einem 5-Minutentakt kann eine Gleichverteilung in der Fahrgäste in der Zeit unterstellt werden.

Im nächsten Schritt wird die Ankunftsverteilung mit der realen Streuung der Abfahrtszeiten konfrontiert und pro Fahrgast (oder Gruppe von Fahrgästen die in einer bestimmten Minute am Bahnhof ankommen) bestimmt, was ihre Einstiegsverzögerung ist. Zu dieser Einstiegsverzögerung wird nun die Fahrzeitsstreuung des jeweiligen Fahrzeuges addiert, was zu einer Ankunftsverteilung führt. Falls dies das Ziel des Reisenden war, ist dies direkt das Streumaß für die Reisezeit, sonst muss diese Verteilung wieder mit der Abfahrtszeitverteilung des nächsten Zuges verschnitten werden.

Wenn ausschließlich Fernverkehrszüge mit einem Takt von 2x pro Stunde oder weniger betroffen sind und vorausgesetzt werden kann, dass Züge pünktlich oder zu spät, aber niemals zu früh abfahren, dann kann erwogen werden das Verfahren zu vereinfachen und für Verbindungen ohne Umstieg die Verspätungszeit des Zuges gleichzusetzen mit der Verspätungszeit des Fahrgastes. Für Verbindungen mit Umstieg muss eine Funktion zugefügt werden, die die Wahrscheinlichkeit bestimmt, dass der nächste Zug erreicht wird bzw. wieviel Minuten die Reise länger dauert, wenn er nicht erreicht wird. Die so bestimmte Streuung der Reisezeit muss dann natürlich noch gewichtet werden mit der Anzahl der betroffenen Fahrgäste.

c. Forschungsbedarf

Vor allem für den ersten Teil, der Quantifizierung der Auswirkungen von Maßnahmen auf die Streuung der Fahrzeiten, ist umfangreiche Forschung und Entwicklung erforderlich, die unserem Wissen nach noch nicht vorliegt. Unsere Empfehlung für den Schienenverkehr ist daher:

- Es sollte ein Forschungsvorhaben ausgeschrieben werden, das auf Basis von dem hier beschriebenen konzeptuellen Modell exakte Methoden feststellt, um die Streuung der Fahrzeiten im Verkehrsmodell für künftige Situationen zu ermitteln. Hierbei ist auch zu untersuchen, ob es sinnvoller ist, eine Mikrosimulation mit OpenTrack für das jeweilig betroffene Teilnetz durchzuführen und dann auf alle betroffenen Verbindungen hochzurechnen oder besser ein makroskopisches Modell entwickelt werden sollte, das in der Lage ist, ganz Deutschland auf einmal durchzurechnen. Es ist wahrscheinlich, dass dieses Forschungsvorhaben nicht rechtzeitig für den laufenden Bundesverkehrswegeplan belastbare und validierte Ergebnisse aufweisen kann. In diesem Fall empfehlen wir, diese Methode in unsere Methodik 2 und 3 einfließen zu lassen.
- Es ist kurzfristig eine vereinfachte Methode zu entwickeln, die bereits im laufenden Bundesverkehrswegeplan benutzt werden kann. Für diese einfache Methode wird im Folgenden ein Vorschlag gemacht.

d. Vereinfachte Methode für Methodik 1

Ausgehend von der im Abschnitt a) begründeten Feststellung, dass alle beschriebenen Maßnahmen für die Schiene die Zuverlässigkeit erhöhen, sollten diese Nutzen trotz des beschriebenen Forschungsaufwandes berücksichtigt werden. Dafür ist zunächst ein vereinfachtes Näherungsverfahren für den BVWP 2015 anzuwenden. Aus Sicht der Gutachter ist eine zunächst

überschlägige Berechnung der Zuverlässigkeitsgewinnen der Nicht-Beachtung vorzuziehen, da letztere größere Fehler im Gesamtergebnis verursachen würde als eine grobe Abschätzung. Als Zwischenschritt zu einer genaueren Abbildung des Zuverlässigkeitsnutzens scheint eine vereinfachte Methode für den Schienenpersonenverkehr angemessen und zulässig.

Für diese vereinfachte Methode schlagen wir vor, für die verschiedenen Infrastrukturmaßnahmen einen Katalog mit pauschalen Zuverlässigkeitsgewinnen aus bereits realisierten Vorhaben abzuleiten, die dann in der Bewertung berücksichtigt werden. Diese Zuverlässigkeitswerte können empirisch mit Ex-Post-Analysen aus tatsächlich gemessenen Reisezeitabweichungen von in den letzten 5 – 10 Jahren fertiggestellten Schienenprojekten des gleichen Typs bestimmt werden. Bei der Auswahl der Projekte ist darauf zu achten, dass sie in Art und Umfang vergleichbar sind, mit den geplanten Projekten und weiterhin eine ausreichende Diversität abdecken (möglichst viel verschiedenartige Projekte). Ein Vorschlag für eine mögliche Klassifizierung von ist in Tabelle 22 dargestellt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte untersucht werden, ob Unterschiede zwischen den Projekten so groß sind, dass diese in weitere Unterklassen unterschieden werden müssen. Mögliche Einflussgrößen könnten die Länge der Neu- oder Ausbaustrecke sowie die Entwurfsgeschwindigkeit sein. Die Maßnahmenkategorien müssen in jedem Fall deutschlandspezifisch aus den empirischen Daten abgeleitet werden.

Tabelle 22: Zuverlässigkeit bei bestimmten Maßnahmen

	Standardabweichung / Minuten Reisezeit Bei schwacher bis normaler Belastung	Standardabweichung / Minuten Reisezeit Bei starker Belastung bis Überbelastung
Neubaustrecke		
Ausbaustrecke als Schnellfahrstrecke		
Elektrifizierung		
Zusätzliche Gleise		
Überholgleis, niveaungleiche Kreuzungen		
Beseitigung von niveaugleichen Bahnübergängen		

Um diese Tabelle zu füllen, sind für jeweils mindestens fünf (besser mehr) Projekte je Kategorie die Standardabweichung der Reisezeiten nach Maßnahmentyp zu erfassen. Hierbei sind jeweils mehrere Jahre zu stapeln, um den Projekteinfluss von zufälligen Störungen zu isolieren. Falls Daten zur Standardabweichung nicht direkt verfügbar sind, kann ersatzweise aus der Häufigkeit von Verspätungsklassen eine ungefähre Standardabweichung konstruiert werden.

Für Maßnahmen die einen bestimmten Punkt (z.B. Bahnhof oder Kreuzungspunkt) verbessern, sollte die Standardabweichung für einen längeren Abschnitt erfasst werden. Züge bleiben in der Regel nicht auf dem Konfliktpunkt selbst, sondern zum Teil mehrere Kilometer vorher an einem Signal stehen, wenn z.B. eine Weiche oder ein Bahnhoftgleis nicht freigegeben werden kann. Durch Vorsignale und Linienzugbeeinflussung kann bereits auf größerer Entfernung die Geschwindigkeit reduziert werden. Der betrachtete Abschnitt muss diesen Bereich erfassen, um relevante und messbare Ergebnisse zu liefern. Um jedoch zu verhindern, dass bei der Anwendung auf geplante Projekte verschiedene Abschnittslängen zu unterschiedlichem Projektnutzen führen können und somit Willkür und Manipulation möglich würden, sollten vorab deutliche Anwendungsregeln hierfür aufgestellt werden. Ein weiterer Grund für das betrachten von größeren Abschnitten ist, dass hierdurch indirekt auch das Problem der Nicht-Additivität von Standardabweichungen entschärft wird (aber nicht ganz aufgehoben, es bleibt eine vereinfachte Methode).

Aus dieser Tabelle und den Anwendungsregeln kann dann die Zuverlässigkeit für den entsprechenden Abschnitt für den Planfall ermittelt werden. Diese muss nun mit derjenigen für den Referenzfall verglichen werden. Es ist bekannt dass eine Erhöhung der Verkehrsnachfrage zu weniger Zuverlässigkeit führt. Um zu dem (zukünftigen) Referenzfall zu gelangen muss dann noch abhängig von der Verkehrsprognose einen Zu- oder Abschlag für Erhöhung oder Verminderung des Reisendenaufkommens auf dieser Strecke zugerechnet werden. Für die Bildung der Zu- und Abschlagsfaktoren sollte ein Zusammenhang zwischen dem aus der Verkehrsprognose geschätzten Gesamtverkehrsaufkommen (Personen- und Güterverkehr) und den Zuverlässigkeitswerten gebildet werden.

Mit den zu ermittelnden Zuverlässigkeitsgewinnen je Maßnahme und Anwendungsregeln kann ein überschlägiger Wert für den Zuverlässigkeitsnutzen einer Maßnahme ermittelt werden. Abschließend sollte dieser Zuverlässigkeitsnutzen mit der Anzahl der Fahrten aus der Quell-Ziel-Matrix multipliziert werden welche in der Plansituation die Maßnahmenstrecke nutzen.

Schienengüterverkehr und Binnenschifffahrt (Fracht)

Eine Möglichkeit wären Regressionsanalysen mit GPS-Daten, wie für den Straßenverkehr. Jedoch gibt es bisher keine eindeutigen Beweise dafür, dass die Verringerung der Dispersion bei den Transportzeiten in der Binnenschifffahrt und dem Schienengüterverkehr einen erheblichen Wert zusätzlich zum Wert der eigentlichen Transportzeit hat (SP-Erhebungen von Fowkes, 2007 und Halse et al. 2010 haben für Schienengüterverkehr relativ niedrige VORs gefunden; RAND Europe et al. (2004) auch für Binnenschifffahrt²⁰). Just-in-time (JiT) Systeme sind heutzutage wichtig für verschiedene Supply-Chains, aber diese nutzen vor allem Straßentransport, nicht Schiene oder Binnenschifffahrt (diese Verkehrsträger haben gerade wegen zunehmender Verwendung von JiT Marktanteil verloren).

Es ist möglich, dass der Wert der Transportzeitzuverlässigkeit für die Verkehrsträger Schiene (Fracht) und Binnenschifffahrt nicht signifikant von Null verschieden ist. Wir empfehlen, die

²⁰ In den Interviews (Kapitel 3) ist dies nicht quantitativ untersucht, aber es gibt auch hier Hinweise dass Unzuverlässigkeit der Transportzeit momentan für Schiene und Wasserstraße ein nicht besonders wichtiges Entscheidungskriterium ist.

Arbeit für die Q-Seite zuerst für den Straßenverkehr und dann für den Personenverkehr auf der Schiene auszuführen. Für den Güterverkehr auf Schienenwegen und Binnenwasserstraßen gibt es nach unserer Kenntnis international überhaupt noch keine Arbeit zur Q-Seite von Zuverlässigkeit. Wir denken, dass es ratsam wäre, zuerst die notwendigen Schritte bezüglich der P-Seite durchzuführen um zu sehen, ob es einen signifikanten und substantiellen Wert für die Transportzeitzuverlässigkeit für diese Verkehrsträger gibt. Nur wenn sich herausstellen würde, dass dies der Fall ist, sollte man mit der Q-Seite von Transportzeitzuverlässigkeit für die Binnenschifffahrt und den Schienengüterverkehr fortfahren. In der Zwischenzeit könnte für den Schienengüterverkehr die Variable für die Pünktlichkeit, die jetzt schon in dem Verkehrsträgerwahlmodell für den Güterverkehr enthalten ist²¹, zur NKA hinzugefügt werden, wobei die Bewertung auf dem Verhältnis zur Transportzeit in diesem Verkehrsträgerwahlmodell basiert. Dies ist aber nur möglich, wenn die Pünktlichkeit für maßnahmen- und streckenspezifischen Szenarien differenziert wird.

Sollte man auf der P-Seite herausfinden, dass Zuverlässigkeit der Transportzeit im Schienengüterverkehr oder in der Binnenschifffahrt genügend wichtig ist, dann muss man auch die Q-Seite berechnen können. Dazu gelten im Schienengüterverkehr die gleichen Hinweise zur Komplexität wie im Schienenpersonenverkehr und auch hier würden wir Simulationsrechnungen oder einen Katalog mit pauschalen Zuverlässigkeitsgewinnen in Abhängigkeit der Maßnahmen wie in Tabelle 22 empfehlen.

Wasserstandbeeinflussende Maßnahmen, wie z.B. Kanalisierung, vermindern nicht nur den durchschnittlichen Wasserstand, sondern auch den Umfang der Schwankungen der Wasserstände. Diese Schwankungen beeinflussen die Transportkapazität der Schiffe (siehe auch die Interviews in Kapitel 3). Wie bei dem Expertentreffen einstimmig diskutiert, werden die Auswirkungen der Wasserstandsschwankungen in den Transportkosten und auch im Preis berücksichtigt. Es ist daher nicht notwendig, eine neue Variable für die Zuverlässigkeit mit Bezug auf die Wasserstandsschwankungen für die NKA zu definieren. Allerdings besteht für die NKA der Bedarf einer Kosten- bzw. Preiskalkulation für die Binnenschifffahrt, welche die Auswirkungen der Wasserstandsschwankungen berücksichtigt. Erforderlich für die NKA ist eine Funktion die ausdrückt wie der Preis von den Schwankungen abhängt. Zum Teil kann man dazu die Kleinwasserzuschläge verwenden, die die Erhöhung der Preise bei Niedrigwasser beschreiben. Aber Schwankungen der Wasserstände haben auch bei Mittelwasser preisliche Konsequenzen. Um dazu eine Preisfunktion zu schätzen, sollten Daten über wirklich bezahlte Preise und Variation der Wasserstände gesammelt werden (wie bei der hedonischen Preismethode, wo man Preise erklärt aus verschiedenen Einflussgrößen). Eine andere Möglichkeit wäre, ein Stated-Preference-Experiment mit dem Preis, dem durchschnittlichen Wasserstand und Variationen des Wasserstands als Attributen zu entwerfen, um damit Reedereien zu interviewen. Wir gehen davon aus dass die strukturelle zukünftige Entwicklungen und die Einflüsse von Maßnahmen auf Schwankungen jetzt schon auf Basis von Literaturanalysen vorhergesagt werden können (siehe auch Jonckeren, 2009, Demirel, 2011). Der zukünftige (z.B. 2030) Grad der Schwankungen und der Effekt von Infrastrukturvorhaben auf die Wasserstandsschwankungen können mit

²¹ Im heutigen Verkehrsmittelwahlmodell gibt es für den Verkehrsträger Schiene (Güterverkehr) eine Variable, die den prozentualen Anteil der Güter ausdrückt, die pünktlich ankommen (auf SP-Daten geschätzt). Diese ist definiert als die außerplanmäßige Verspätung (Unpünktlichkeit) und wird in Minuten gemessen. Für die kommenden Jahre (z.B. Vorhersagen für 2030) fließt eine Veränderung dieser Werte im Rahmen von Szenarien in die Modelle ein (Information von BVU).

technischen (hydrodynamischen) Modelle vorhergesagt werden (obwohl dies abhängig ist von Szenarien für den zu erwartenden Temperaturanstieg).

In Deutschland ist die BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) für derartige Analysen zuständig und stellt diese im Rahmen ihres gewässerkundlichen Datendienstes für externe Partner zur Verfügung.

Mit dem Pilotprojekt "Hydrologie und Binnenschifffahrt" des Forschungsprogramms KLIWAS hat die BfG bereits 2007 begonnen, die hydrometeorologischen Datengrundlagen für alle internationalen Flussgebiete für den deutschen Gebietsanteil zusammenzustellen. Dabei werden unter anderem die Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie, auf Transportkosten und weitere wirtschaftliche Aspekte bewertet.

In dem Projekt Econet entwickelt NEA zusammen mit Projektpartnern Prognosen für 2050.

Wie für Schienengüterverkehr empfehlen wir auch für Wasserstraße Simulationsrechnungen oder einen Katalog mit pauschalen Zuverlässigkeitsgewinnen in Abhängigkeit der Maßnahmen wie in Tabelle 22. Bei Transportzeitzuverlässigkeit für Binnenschifffahrt handelt es sich vor allem um Wartezeit an Schleusen und Brücken. Man kann bei einer bestimmten Schleuse (oder Brücke) einfach beobachten wie viele Schiffe da warten, wie groß diese sind und wie lange es dauert. Dazu braucht man keine GPS-Daten. Die Folgen von Maßnahmen auf Wartezeit kann man berechnen auf Grund von Daten über die Kapazität und Betriebszeit einer neuen Schleuse oder die Höhe und Öffnungszeit einer neuen Brücke. Daraus ergibt sich die Grundlage für die Tabelle, die man verwenden kann um einen ersten Eindruck der Folgen von Maßnahmen zu bekommen.

Benötigte Daten für Schienenverkehr

1. Aus dem Verkehrsmodell:

1.1 Für jedes der selektierten historischen Projekte werden die **Quell-Ziel-Relationen** samt dem Verkehrsaufkommen benötigt bei denen signifikanter Verkehr (Reisende und Güter) über die Projektinfrastruktur läuft. Das Verkehrsaufkommen sollte je **Route** und je Tageszeit (z.B. 7-9, 9-16, 16-18, 18-7 Uhr) ermittelt werden. Die Quell-Zielrelationen sind wahrscheinlich nicht bekannt für beliebige Jahre vor und nach der Projektausführung, ausserdem ist es zur Ermittlung von allgemeinen Kennzahlen gar nicht wünschenswert externe Intensitätseffekte einfließen zu lassen. Wir empfehlen daher, eine Quell-Ziel-Matrix von einem bestimmten, bekannten Jahr (z.B. 2005) zu verwenden und diese auf jeweils ein Netz mit und ohne das zu untersuchende Projekt umzulegen (falls ein bestimmter Projekttyp keine Routeneffekte erwarten lässt kann eine Umlegung ausreichend sein).

1.2 Für Personenverkehr Fahrplandaten für die selektierten **Routen**: vollständiger Fahrplan oder vereinfacht nach Takt (wie oft je Stunde) und Umstiegpuffer (Umstiegszeit minus notwendige Zeit für Gleiswechsel etc).

1.3 Weiterhin eine Stichprobe von einigen Relationen auf denen keine Projekte realisiert wurden; für diese Relationen ebenfalls den Fahrplan für die möglichen Routen in demselben Format wie unter 1.2.

2. Aus historischen Daten Deutsche Bahn:

2.1 Standardabweichung der Fahrzeit je **Route** (inkl. Umstieg). Falls diese nicht verfügbar, ersatzweise Häufigkeit von Verspätungsklassen je Zug und Bahnhof (90 % < 3 Minuten, 3 % 3-5 Minuten, 2 % 5-10 Minuten u.s.w.). Diese Häufigkeiten sollten in denselben Tageszeitklassen wie vom Verkehrsmodell verfügbar ermittelt werden. „Zug“ ist hierbei nicht notwendigerweise eine bestimmte Zugnummer, sondern eine in einem Takt sich wiederholende Verbindung, z.B. S-Bahn S6, Regionalbahn Offenbach-Frankfurt oder ICE 4 Hamburg – Hannover – Frankfurt/M. Wichtig ist, dass diese über gemeinsame Attribute koppelbar sind an die **Routen** aus dem Verkehrsmodell. Wir brauchen diese Standardabweichungen für die selektierten Routen (dieselben wie in 1.1 und 1.2) aber auch als Ist-Situation in Beziehung auf Unzuverlässigkeit für das ganze Netz. Es ist, je nach Umfang der Matrix, denkbar dass nicht Routen für alle Relationen berechnet werden, sondern nur diejenigen mit dem höchsten Verkehrsaufkommen plus eine Stichprobe aus denjenigen mit niedrigerem Verkehrsaufkommen.

2.2 Für Güterverkehr: Pünktlichkeitsmessungen (wenn möglich Standardabweichungen, sonst Häufigkeit von Verspätungsklassen wie in 2.1) für Ganzzüge, Einzelwagenverkehr und falls Daten verfügbar auch Stückgutverkehr

2.3 Diese Daten für mehrere Jahre vor, während und nach Realisierung des Projektes, um Stapelung möglichst zu machen.

2.4 Reisendenaufkommen und Gütermenge (tonnen) für diese selektierte Relationen (wie in 1.1 und 1.2). Falls diese nicht verfügbar sind, Proxy-Daten wie Zugbesetzung, welche dann benutzt werden, um die relative Veränderung des Reisendenaufkommens und Gütertransports vor und nach der Maßnahme zu bestimmen.

2.5 Um den Einfluss von Veränderung der Netzbelastung bestimmen zu können, werden Zuverlässigkeitswerte (wie unter 2.1) für die Stichprobe unter 1.3; für zwei gestapelte Gruppen von Jahren (z.B. 2003-2006 und 2008-2011) benötigt. Für beide Jahresgruppen müssen auch Reisendenaufkommen und Anzahl Personen- und Güterzüge (pro Zeiteinheit, z.B. Tag) bestimmt werden.

P-Seite

Für die P-Seite, ist es notwendig, dass Zuverlässigkeit in der neuen RP/SP-Studie zu den Zeitkostensätzen einbezogen wird, so dass daraus eine Studie zu Zeitkostensätzen (VOT) und Werten für die Zuverlässigkeit (VOR) wird. In dieser neuen RP/SP-Studie, ist vorgesehen, dass ein Discrete-Choice-Modell geschätzt wird. Um die VOT und VOR für jeden Verkehrsträger zu erhalten, kann man entweder eine RP/SP-Studie unter Verwendung von nur einer Strecken-/Trassenalternative oder eine kombinierte Studie zur Verkehrsträger- und Routenwahl durchführen. Letzteres hat den Vorteil, dass in der Zukunft das Discrete-Choice-Modell sowohl in dem Modell zur Routenwahl als auch Verkehrsmittelwahl leicht angewendet werden kann.

Wir unterscheiden (i) den Personenverkehr, und (ii) den Güterverkehr:

(i) Personenverkehr

Die P-Seite für alle relevanten Verkehrsträger des Personenverkehrs kann der neuen Studie für das BMVBS zur Bewertung von Zeit und Zuverlässigkeit entnommen werden, bei der sowohl RP (im ersten Teil des Interviews) als auch SP-Daten (im zweiten Teil) gesammelt werden:

- a. Zwei Arten von SP-Wahlmöglichkeiten in einem Interview: Entscheidungen innerhalb eines Verkehrsträgers (intra-modaler Choice; der in der Regel bessere Schätzergebnisse für monetäre Bewertungen liefert) und Entscheidungen zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln (intermodaler Choice; der für das Verkehrsmittelwahl-Modell benötigt wird). Empfehlungen zum Design des RP / SP Fragebogen finden sich in Anhang A.
- b. Modellschätzung auf Basis von SP-Daten (intramodale und intermodale Entscheidungen, unabhängig und simultan).
- c. Modellschätzung auf Basis der Kombination von Daten aus den SP-Experimenten und RP-Daten (RP-Daten aus dem ersten Teil der Befragung).
- d. Ableitung von VOTs und VORs aus dem Modell (vorzugsweise aus dem kombinierten RP/SP-Modell), unter Anwendung geeigneter Verfahren zur Hochrechnung auf repräsentative Daten.

(ii) Güterverkehr

Für den Güterverkehr könnten ähnliche SP / RP Erhebungen durchgeführt werden (wie in der aktuellen VOT/VOR Studie in den Niederlanden²²). Es sollte allerdings Wert darauf gelegt werden, zwischen den Beiträgen von Verladern und Spediteuren zu unterscheiden, das große Maß an Heterogenität im Güterverkehr zu berücksichtigen²³ sowie der Tatsache Rechnung zu tragen, dass zeitliche Verzögerungen in der Binnenschifffahrt meist mit den Wartezeiten an Schleusen und Brücken²⁴ zusammenhängen und dass in der Binnenschifffahrt auch die kapazitätsbezogene Zuverlässigkeit eine Rolle spielt. Wenn man die Folgen von Wasserstandsschwankungen auf die Transportkosten berechnet, wie oben vorgeschlagen (z.B. mittels SP), dann ist eine Übersetzung in monetären Werte nicht mehr nötig.

Benötigtes Zeit- und Geldbudget

Da keine Änderungen an dem Verkehrsmodell vorgenommen werden, sind die Investitionen zur Entwicklung des Regressionsmodells für die Unzuverlässigkeit und zur Bestimmung des Wertes von (Un-) Zuverlässigkeit bestimmt.

Für die Entwicklung des Regressionsmodells für die Unzuverlässigkeit müssen empirische Daten zur Routenfahrzeit gesammelt werden. Für Züge und Binnenschiffe können diese Reise-

²² Ergebnisse sind noch nicht verfügbar (voraussichtlich ab Herbst 2012). Die meisten verwendeten Survey Designs sind aber bereits in de Jong et al. (2007) beschrieben.

²³ Wichtig ist vor allem dass die SP-Experimente auf einem Pivot-Design basieren, bei dem die vorgestellten Alternativen zur Verkehrsträgerwahl genau auf sämtliche Details der letzten RP-Reise zugeschnitten sind ('Customising'). Weiterhin sind in der Modellschätzung viele Einflussgrößen ('observed heterogeneity') und statistische Verteilungen ('unobserved heterogeneity') für die SP-Koeffizienten zu testen.

²⁴ Man braucht also SP-Experimente die sich auf Wartezeiten an Schleusen und Brücken beziehen (z.B. wie in der aktuellen VOT/VOR Studie in den Niederlanden).

/Transportzeit vermutlich mit GPS ermittelt werden, aber dann dazu wäre die Mitarbeit von Reisenden, Bahnnutzern und Reedereien erforderlich. Für den Straßenverkehr sind wahrscheinlich auf den meisten Autobahnen Daten aus Induktionsschleifen erhältlich. GPS (zum Beispiel TomTom) oder Kennzeichenerkennung per Kamera können ebenfalls eingesetzt werden, um Reise-/Transportzeit zu erhalten.

Sobald diese Daten versammelt sind, kann ein Regressionsmodell auf die Reise-/Transportzeitendaten für Straßenverkehr relativ leicht geschätzt werden. Für andere Verkehrsträger ist das schwieriger, und schlagen wir z.B. auch Simulationstechniken vor (siehe oben). Die Kosten für die gesamte Entwicklung (Modellschätzung und Implementierung) wird sich auf ca. 150.000 € (exklusive der Kosten für die Datenerhebung) belaufen (ungefähr 50.000 € pro Verkehrsträger) und sollte nicht länger als ca. 1 Jahr für alle drei Verkehrsträger, sowohl für den Personen- als auch den Güterverkehr, in Anspruch nehmen.

Die RP/SP-Datensammlung zur Bestimmung des Wertes der Zuverlässigkeit ist zeitaufwändiger. Vorzugsweise wird diese Datensammlung in einer Weise durchgeführt, dass die Modelle für die Verkehrsträger und Routenwahl einschließlich Zuverlässigkeit geschätzt werden, die nicht nur den gewünschten Wert der Zuverlässigkeit liefern, sondern auch als Choice-Modelle in Methodik 2 verwendet werden. Die Datenerhebung für den Personenverkehr ist bereits in einem separaten Projekt des BMVBS im Gange. Für den Güterverkehr können die Kosten auf 300.000 € (einschließlich Datenerhebung mittels SP-Befragung und Modell-Schätzung) geschätzt werden. Die Zeit für die Datenerfassung und Modellschätzung für Güterverkehr erfordert ungefähr 15 Monaten. Dies bezieht sich auf Bewertungen von Transportzeit und Zuverlässigkeit der Transportzeit für Straße, Schiene und Binnenschifffahrt, und Zuverlässigkeit der Transportkapazität (Folgen von Wasserstandschwankungen auf Transportkosten) in der Binnenschifffahrt (ein Modalwahlmodell im Güterverkehr ist nicht inbegriffen; siehe Methodik 2).

Abbildung 14 stellt den Zeitplan dar. Wenn die Projekte zur Q-Seite für Straße und Schiene in Juni 2012 anfangen könnten, dann würden diese in Juli 2013 fertig kommen. Der Zeitaufwand für den Schienenpersonenverkehr bezieht sich auf die vereinfachte Methode (siehe Abschnitt d). Wenn auch das Projekt zur P-Seite im Güterverkehr in Juni 2012 beginnen könnte, dann könnte dieses Projekt in September 2013 abgeschlossen werden. Im September 2013 würde man entscheiden, ob eine Untersuchung zur Q-Seite von Schienengüterverkehr und Binnenschifffahrt wertvoll ist. Dann würde man bis Juni 2014 benötigen, um auch den Güterverkehr für Methodik 1 abzuschließen.

Abbildung 14: Zeitplan Methodik 1

Monat:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
Q	Straße PV+GV	Daten-sammlung			Modellschätzung				Implementierung & NKA Testen																			
	Schiene PV (vereinfachte Methode)	Daten-sammlung			Ex-Post-Analyse (Ergebnis: Tabelle mit Zuverlässigkeitskennwerten)				Implementierung & NKA Testen																			
P	PV	Läufende Untersuchung																										
	GV ¹	SP/RP Datensammlung und Modellschätzung																										
Q	Schiene GV																	Daten-sammlung	Analyse			Implementierung & NKA Testen						
	Binnenschiff-fahrt GV																	Daten-sammlung	Analyse			Implementierung & NKA Testen						

1: Inbegriffen: Kosten von Wasserstandschwankungen

9.2.3 Methodik 2: Mittelfristige Lösung

Diese Alternative schließt alles ein, was auch in dem ersten Alternativen enthalten war, allerdings wird das Prognosemodell um Szenarien und eine Feedback-Schleife erweitert, wobei beim Verhalten der Agenten die Zuverlässigkeit berücksichtigt wird.

Maß für die Unzuverlässigkeit

Wie in Methodik 1, schlagen wir vor, die Standardabweichung als Maß für die Unzuverlässigkeit zu verwenden.

Q-Seite

Die meisten Komponenten der Vorhersage in Methodik 1 werden unverändert übernommen. Allerdings fügen wir nun die Zuverlässigkeit als Einflussfaktor auf Verkehrsmittelwahl und Routenwahl hinzu. Mit dem bereits ausgeschriebenen RP/SP-Projekt zum Personenverkehr (FE4) und dem was für den Güterverkehr folgt können diese Modellen mit Zuverlässigkeit schon geschätzt werden, aber diese neuen Modelle müssen dann noch in die Prognosemodelle für den BVWP eingebaut und getestet werden.

Die vorgeschlagene Grundstruktur ist in Abbildung 15 dargestellt.

Die wichtigste Änderung im Vergleich zu Methodik 1 ist die Aufnahme der Unzuverlässigkeit der Routen in die Funktion der generalisierten Kosten. Dadurch kann die Unzuverlässigkeit bei der Verkehrsträger- und Routenwahl berücksichtigt werden. Diese Rückkopplung wird vorzugsweise in der gleichen Weise durchgeführt wie die Schätzung der VOT und VOR (siehe P-Seite-Methodik 1), d.h. unter Verwendung des gleichen entsprechenden Discrete-Choice-Modells für die Verkehrsträger- und Routenwahl. Diese Modelle drücken die relative Bedeutung der Zuverlässigkeit in Bezug auf die Variablen in den Verkehrsmodellen aus, wie z.B. Zeit- oder kostenäquivalente Einheiten. Diese Äquivalenz kann verwendet werden, um die Auswirkungen von Änderungen in der Zuverlässigkeit auf die Verkehrsmittelwahl oder Routenwahl als Änderungen in Reisezeit oder Kosten zu simulieren. Anders als in Methodik 1, erfordert das Prognosemodell in Methodik 2 eine Erweiterung der aktuellen Verkehrsmodelle des BMVBS, um das Kriterium Zuverlässigkeit in die iterative Feedback-Schleife aufzunehmen.

Die Aufnahme der Zuverlässigkeit in die Verkehrsträger- und Routenwahl bedeutet zugleich dass verschiedene Modellparameter neu geschätzt werden müssen, welche für den Referenzfall mittels Kalibration auf Zählungen ermittelt wurden und damit global den heute noch fehlenden Einfluss der Zuverlässigkeit kompensieren.

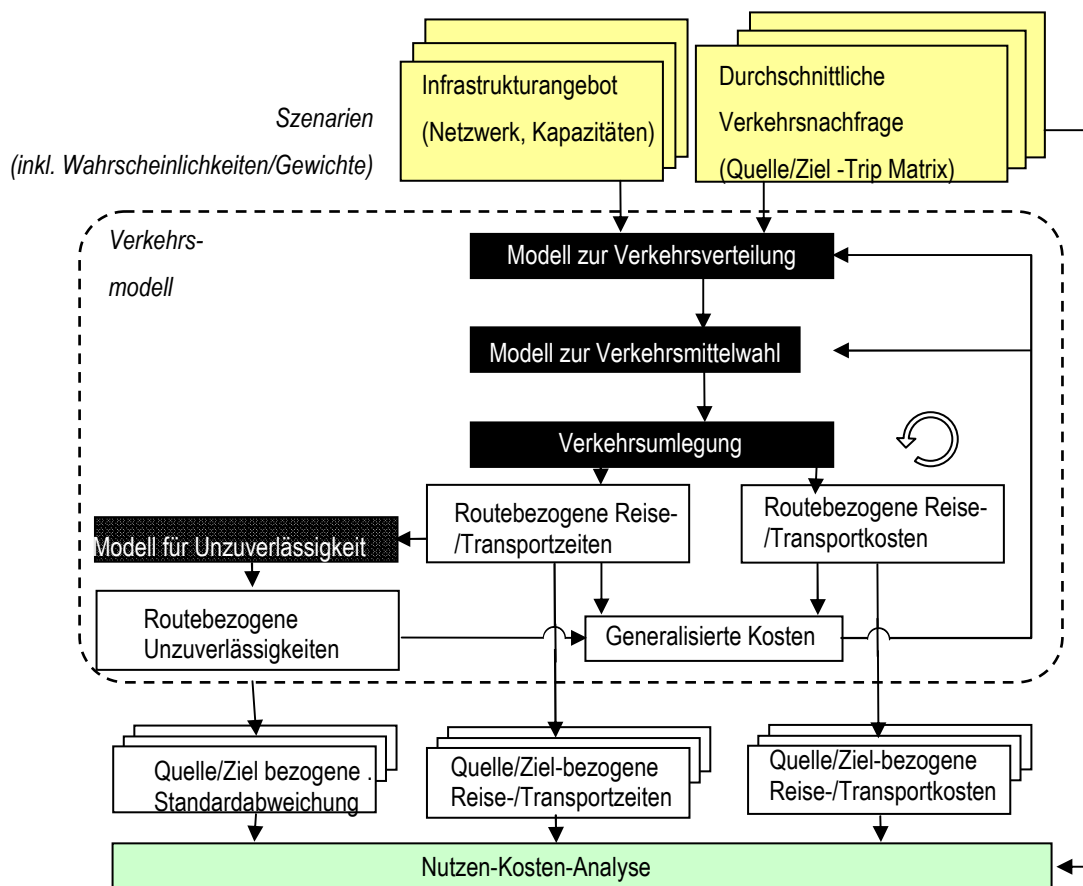


Abbildung 15: Prognosemodell in Methodik 2

Darüber hinaus schlagen wir vor, eine Reihe von Zustände (in den USA nennt man das in Kontext von Zuverlässigkeit 'Szenarien') für alle Arten von Tagen (besondere Ereignisse, Unfälle, Baustellen, Wochentag, Wetter) zu entwerfen und dabei Regressionsgleichungen für die Standardabweichung und Gewichte für die verschiedenen Zustände zu verwenden. Anstelle der Anwendung eines einzigen Regressionsmodells für die Unzuverlässigkeit (wie in Methodik 1), kann es also in Methodik 2 mehrere Regressionsmodelle (eins für jeden Zustand) geben. Es sei darauf hingewiesen, dass dies nicht eine vollständige Reisezeitverteilung liefert (im Gegensatz zur Monte-Carlo-Simulation, die wir in Methodik 3 vorschlagen). Die heutigen Modelle kennen keine Feedback-Schleife für Zuverlässigkeit. Diese in die Berechnung der Kosten einer Route zuzufügen ist zwar an sich nicht sehr viel Arbeit, jedoch ist anzunehmen dass dies Einfluss auf z.B. Kalibrierung und Modellparameter hat.

P-Seite

Die P-Seite kann die gleiche sein wie in Methodik 1, außer dass die nun zu schätzenden SP / RP-Modelle jetzt ausdrücklich die Wahl des Verkehrsträgers (und eine explizite Routenwahl) enthalten sollten. Die entsprechenden Werte für Zuverlässigkeit ausgedrückt als Zeit oder Kosten können aus diesen Modellen entnommen werden.

Schritte für die Q-Seite

Wir unterscheiden (i) Straßenverkehr (Personen- und Güterverkehr), (ii) Schienenpersonenverkehr, und (iii) Schienen- und Binnenschiffsverkehr für den Gütertransport.

(i) Straßenverkehr (Passagiere und Fracht)

Die Arbeitsschritte auf der Q-Seite sind größtenteils die gleichen wie in Methodik 1, mit Ausnahme einiger Erweiterungen.

Zunächst einmal müssen Zustände (Szenarien) definiert werden, in denen Kombinationen von Verkehrsnachfrage und Verkehrsinfrastrukturangebot mit den entsprechenden Gewichten oder Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden. Es existieren noch keine Quellen welche und wie viele Zustände man hier braucht (in den USA werden diese „Szenarien“ schon eingesetzt, aber es gibt noch keine Veröffentlichungen darüber. Dies muss daher im Rahmen der Forschungsarbeiten getestet werden. Denkbar wären ein Zustand für einen bestimmten Wochentag, ein Zustand für die Ferienzeit, ein Zustand für ungünstige Wetterbedingungen oder sogar Unfälle. Die einzigen Voraussetzungen sind, dass jeder Zustand häufig genug vorliegen muss, um über genügend Daten für die Regression auf die Teilmenge der Daten zu verfügen. Zudem sollte jeder Zustand mit einer ausreichend hohen Wahrscheinlichkeit auftreten, um relevant zu sein.

Sobald die Zustände definiert sind, können darüber hinaus aus den Daten für jeden Zustand separat Regressionsmodelle für die Unzuverlässigkeit geschätzt werden.

Schließlich wird in der Anwendung der NKA die Analyse für jeden Zustand separat durchgeführt und später mit Wahrscheinlichkeiten gewichtet.

(ii) Schienenpersonenverkehr

Wie in Methodik 1, aber möglicherweise unterschiedliche Regressionsbeziehungen für verschiedene Szenarien (Wochentag, Ferienzeit, ungünstige Wetterbedingungen).

(iii) Der Güterverkehr per Bahn und Binnenschiff

Siehe Methodik 1.

Arbeitsschritte bezüglich der P-Seite

Diese Schritte sind die gleichen wie in Methodik 1. Allerdings sollten die in dieser Variante geschätzten Modelle auch explizit Modelle zur Verkehrsträgerwahl beinhalten (geschätzt auf neue SP / RP Daten und kalibriert auf repräsentative Daten zum Mode Share).

Benötigtes Zeitbudget

Diese Methodik würde ungefähr 2 Jahre zur Entwicklung, Implementierung und Testen benötigen (einschließlich Methodik 1: 4 Jahre). Inbegriffen sind dann auch das Anpassen der Umlegungsmethode, Abstimmung mit den BVWP Modellen und testen der Gesamtmethode auf

spezifische NKA Projekten. Auf der P-Seite können die gleichen Daten wie für die Methodik 1 verwendet werden (auch mit Daten zur Modalwahl) .

9.2.4 Methodik 3: Idealtypisches Verfahren

Feedback-Mechanismus und Maß für die Unzuverlässigkeit

Bei dieser Methode wird die Zuverlässigkeit als Abweichungen vom Fahrplan oder Zeitplan (Schedule-Delay) gemessen, also eine im Vergleich mit der bevorzugten Ankunftszeit (PAT) verfrühte oder verspätete Ankunft. Darüber hinaus können zusätzliche Einflüsse durch die Standardabweichung erfasst werden, die daher ebenso enthalten ist.

Q-Seite

Das Modell umfasst nicht nur die Wahl der Reishäufigkeit, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl, sondern auch die Wahl der Abfahrtszeit. Alle Komponenten, die den Einfluss von Zeit und Kosten widerspiegeln, können bei dieser Methodik auch Zuverlässigkeit berücksichtigen, vorzugsweise durch logsums von empfindlichen Entscheidungen (z.B. die Wahl der Abfahrtszeit oder die Routewahl), die in den weniger empfindlichen Entscheidungen (z.B. die Wahl der Reishäufigkeit) aufgenommen werden. In Abbildung 16 ist das Modellsystem dargestellt, wobei das hinzugefügte Modell zur Wahl der Abfahrtszeit deutlich zu erkennen ist.

Die generalisierten Kosten beschreiben den Einfluss von Reisezeiten, Kosten, Verzögerungen im Zeitplan und Unzuverlässigkeit auf das Reisewahlverhalten. Statt einer linearen Regression, um die Unzuverlässigkeit der Reisezeit zu bestimmen, wird bei diesem Ansatz eine Monte-Carlo-Simulation gewählt. Bei diesem Ansatz wird angenommen, dass die Verkehrsnachfrage und das Infrastrukturangebot stochastisch sind. In anderen Worten, sie sind nicht exakt sondern nur durch eine bestimmte Wahrscheinlichkeitsverteilung bekannt. Typische Beispiele sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Quelle-Ziel Relationen (z. B. tagtägliche Schwankungen des Verkehrsflusses) und von Kapazitäten von Abschnitten (z. B. Schwankungen aufgrund von Wetterbedingungen). Bei jeder Simulation zieht man aus den gegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen und erhält dadurch eine feste Quelle-Ziel-Matrix und feste abschnittsbezogene Kapazitäten.

Sobald diese bekannt sind, kann das reguläre deterministische Verkehrsmodell angewendet werden. Durch die Durchführung vieler simulierter Züge aus der Verteilung (in der Regel tausende), erhält man eine simulierte Reisezeitverteilung. Aus dieser simulierten

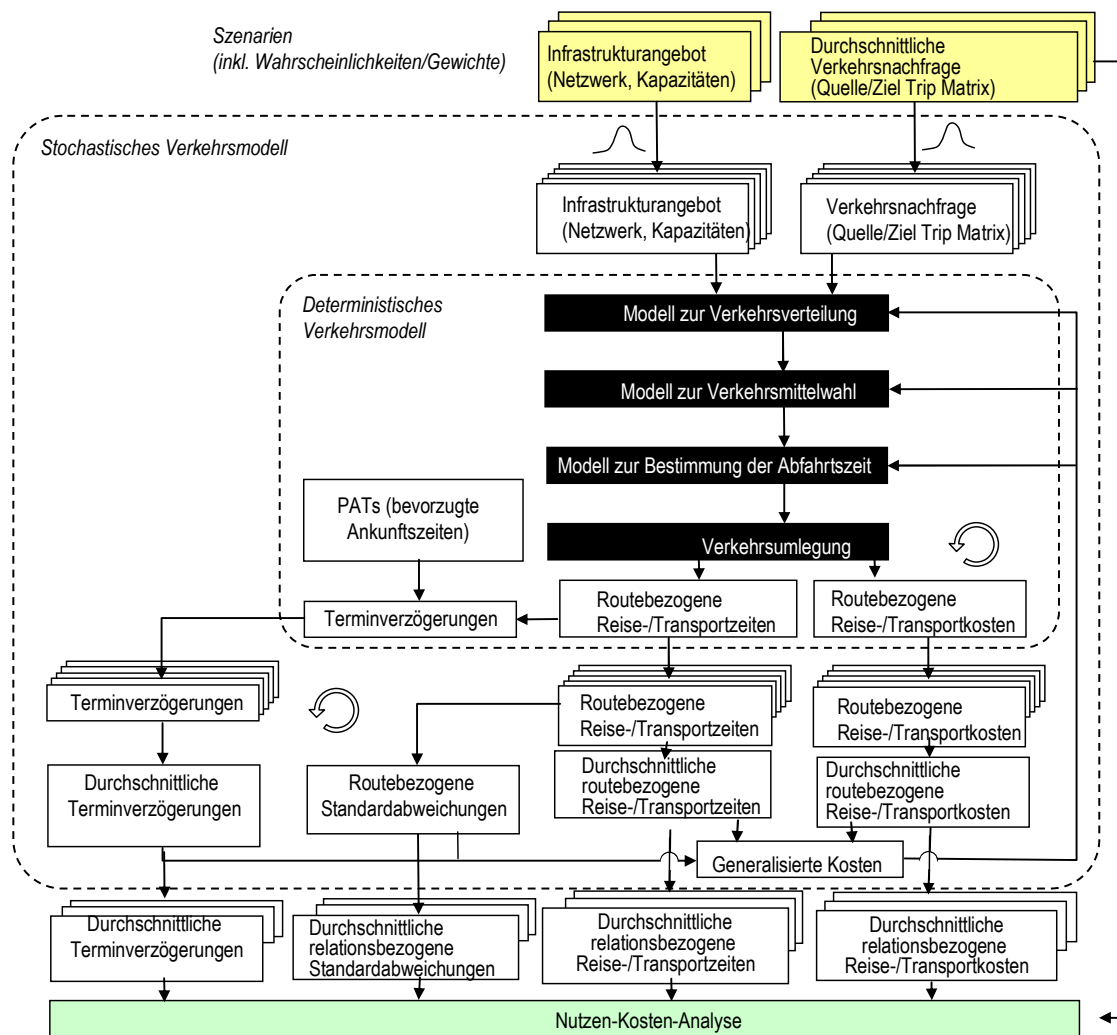


Abbildung 16: Prognosemodell in Methodik 3

Reisezeitverteilung können wir nicht nur direkt den Mittelwert und die Standardabweichung berechnen, sondern auch die Verteilung der Ankunftszeit. Wir können auch für jeden Zug einen Ausdruck für die Verfrühungen/Verspätungen bezüglich des Zeitplans (Schedule-Delay) berechnen. Anstatt daher eine feste Beziehung zwischen der mittleren Reisezeit und die Standardabweichung der Reisezeit (aus empirischen Daten) zu verwenden, wird die gesamte Verteilung simuliert. Dies bietet ein hohes Maß an Flexibilität, in denen die Auswirkungen von möglichen Zuständen simuliert werden können, und man sich nicht auf eine lineare Beziehung beschränkt.

In Methodik 1 und 2 betrachteten wir die Unzuverlässigkeit als Funktion von zunehmender Abhängigkeit von der Reisezeit. Dies muss jedoch nicht immer der Fall sein: Beispiel 1: Eine Verringerung der Höchstgeschwindigkeit von 120 Stundenkilometer auf 80 Stundenkilometer wird die Reisezeit verlängern, kann aber die Unzuverlässigkeit aufgrund einer Harmonisierung der Geschwindigkeit reduzieren. Beispiel 2: Längere Haltezeiten an Bahnhöfen wird die Reisezeit

verlängern, wohingegen die Unzuverlässigkeit aufgrund der größeren Pufferzeit abnimmt. Daher sollte eine flexible Beziehung zwischen Zuverlässigkeit und Reisezeit wie in Methodik 3 bevorzugt werden. Auf der anderen Seite ist eine Simulation sehr zeitaufwendig, da für jede Iteration in dem Verkehrsmodell eine Monte Carlo Simulation durchgeführt werden soll.

Selbst mit aktueller Rechenleistung und Parallelisierungstechniken ist ein solcher Ansatz (noch) nicht auf praktischen Netzwerken möglich. Wenn man sich zudem auf mit Modellen vorhergesagten Reisezeiten, Ausdrücke für die Planung (Scheduling-Terms) und Standardabweichungen verlässt, statt auf empirische Reisezeiten und Standardabweichungen, dann ist es wichtig, dass das Modell in der Lage ist, diese Werte mit ausreichender Genauigkeit vorherzusagen. Traditionelle statische Techniken zur Umlegung auf Netzwerke sind hierzu nicht geeignet. Daher muss man sich auf quasi-dynamische oder dynamische Techniken zur Umlegung auf Netzwerke stützen, in denen die Lage und die Länge der Staus zufriedenstellend erklärt werden. Dies erhöht die rechnerische Komplexität des gesamten Systems. Solche Techniken wären auch schon sehr willkommen in der Berechnung der Reisezeiten in Methodik 1 und 2, aber sind unbedingt notwendig in Methode 3, weil die Zuverlässigkeitsgewinne hier nicht aus einer Regressionsgleichung kommen, sondern aus der wiederholten Verwendung des Transportmodells.

Wie in Methodik 2, werden auch bei diesem Verfahren Szenarien eingesetzt, bei denen die verschiedenen Wochentage oder Ferienzeiten unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsinfrastrukturangebot liefern können.

Die (Verteilung der) PATs ist ein wichtiger Input, um die Verzögerungen im Zeitplan, die als die Abweichungen zwischen der tatsächlichen Ankunftszeit und der gewünschten Ankunftszeit definiert sind, zu berechnen. Reisende oder Fracht kommen eventuell zu früh oder zu spät am Zielort an, wo oft eine verspätete Ankunft höhere Kosten verursacht als eine verfrühte Ankunft, obwohl eine rechtzeitige Ankunft bevorzugt wird (d.h. keine Verzögerungen der Zeitplanung). Das Versammeln von PATs ist oft zeitaufwendig. Die Ableitung der künftigen Höhe der PAT kann durch Reverse Engineering durchgeführt werden (siehe SILVESTER-Modell, Kapitel 6).

P-Seite

Diese Methode erfordert eine SP / RP-Befragung, die umfangreicher ist als in Methodik 1 und 2 vorgeschlagen, da sie auch die Abfahrts- und Ankunftszeit als Attribute oder als Wahlalternativen umfasst. Die Befragung sollte zudem die PATs für die beobachtete Reise erfragen. Am besten wäre es, zu versuchen, die Ausdrücke für beide Arten von Abweichungen vom Zeitplan und die Standardabweichung der Reisezeit als erklärende Variablen für die getroffene Auswahl einzubeziehen, weil eine gleichzeitige Berücksichtigung von beiden Elementen zu einer besseren Erklärung von Zuverlässigkeit führen könnte.

Schritte für die Q-Seite

Wir unterscheiden (i) Straßenverkehr (Personen- und Güterverkehr), (ii) Schienenpersonenverkehr, und (iii) Schienen- und Binnenschiffsverkehr für den Gütertransport.

(i) Straßenverkehr (Personen- und Güterverkehr)

- 1) Schätzung eines neuen Discrete-Choice-Modells für die Wahl der Abfahrtszeit durch das Versammeln von RP / SP-Daten, einschließlich PATs, Terminverzögerungen, Unzuverlässigkeit, etc.;
- 2) Hinzufügen des Discrete-Choice-Modells für die Wahl der Abfahrtszeit zu dem Verkehrsmodellsystem;
- 3) Entwicklung einer quasi-dynamischen oder dynamischen Technik zur Umlegung auf Netzwerke, die explizit die Bildung und Auflösung von Staus berücksichtigt;
- 4) Entwicklung von Zustände (Szenarien) und entsprechenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Verkehrsnachfrage und Bereitstellung der Verkehrsinfrastruktur.
- 5) Implementierung einer Simulationsumgebung, aus der die Wahrscheinlichkeitsverteilungen von der Verkehrsnachfrage und des Infrastrukturangebots gezogen werden. Vorzugsweise sollte diese Auswahl so getroffen werden, dass die Rechenzeit minimiert wird, z.B. durch Anwendung der Halton-Ziehung, Gauß-Quadratur oder Latin Hypercube Sampling;
- 6) Verwendung der simulierten Verteilungen von Reisezeiten, Terminverzögerungen und Reisekosten; Berechnung der durchschnittlichen Reisezeit, Standardabweichung der Fahrzeit, durchschnittlichen Schedule-Delay, und durchschnittlichen Reisekosten. Zusammen mit der durchschnittlichen Verkehrsnachfrage, werden diese Daten als Input für die Nutzen-Kosten-Analyse verwendet.

(ii) Schienenpersonenverkehr

Im Wesentlichen das gleiche Verfahren wie für den Straßenverkehr, jetzt aber unter Verwendung eines (dynamischen) Simulationsverfahrens zum Laden des Netzwerks für den Schienenpersonenverkehr, wie z.B. das OpenTrack Modell zur Simulation von Bahnnetzen. Dieses Modell simuliert im Detail Züge und ihre Verspätungen. Was zu den Simulationen hinzugefügt werden soll, sind die Ein- und Aussteigezeiten der Reisenden in die Züge, da sie auch eine Ursache von Verspätungen sein können (insbesondere bei großen Veranstaltungen mit vielen Besuchern). Gesamtdeutsche Simulation des Fahrplans (z.B. mit Omnitrans, unter der Annahme dass alle Züge pünktlich sind) ist Stand der Technik. Simulation des tatsächlichen Zuglaufes (z.B. mit OpenTrack), was nötig ist um Verstörungen abzubilden ist jedoch momentan nur für relativ kleine Gebiete möglich.

(iii) Der Güterverkehr per Bahn und Binnenschiff

Verwendung der gleichen Methodik wie für den Straßenverkehr.

Arbeitsschritte bezüglich der P-Seite

1. SP / RP-Erhebung mit Abfahrts- und Ankunftszeiten in der SP-Befragung.
2. Fragen zur Feststellung der PAT der Befragten

Benötigtes Zeitbudget

Unserer Einschätzung nach würde es mindestens 10 Jahre brauchen, bis diese Methode eingesetzt werden kann. Neue Erhebungen auf der P-Seite würden benötigt, sowie neue Modelle auf den Q Seite. Die zu leistenden Arbeiten sind Datenerhebung, Modellschätzung, Implementierung und Testen. Es sind noch viele Arbeiten für die Entwicklung der Umlegungs/Simulationstools nötig. In Omnitrans können bereits heute für die ganzen Niederlande mit 5000 Verkehrszellen dynamische Umlegungen ausgeführt werden, aber damit ist das heutige Maximum erreicht. Ein quasi-dynamisches Modell wie QBLOK (im heutigen nationalen Modell der Niederlande) oder STAQ wäre auch möglich.

9.3 Schlussfolgerungen

In den letzten Jahren hat man in mehrere Länder auf der Welt die Schlussfolgerung gezogen, dass Zuverlässigkeit ein wichtiges Thema ist. Es gibt Methoden um Zuverlässigkeit zu bewerten und zu vorhersagen, die im nationalen Kontext anwendbar sind.

Um die Zuverlässigkeit der Reisezeit (oder Zuverlässigkeit der Transportzeit, für den Güterverkehr) zu berücksichtigen, werden drei Arten von Informationen benötigt:

- Man muss vorhersagen, wie die Infrastrukturprojekte, die ausgewertet werden müssen, die Zuverlässigkeit beeinflussen.
- Man muss die Reaktionen der Reisenden und Entscheidungsträger im Güterverkehr (oder der aggregierten Verkehrsnachfrage) auf Veränderungen der Zuverlässigkeit voraussagen.
- Für die Aufnahme in die Nutzen-Kosten-Analyse benötigt man monetäre Werte, um Zuverlässigkeitsgewinne in Geldeinheiten umzuwandeln.

Die meisten Studien über Zuverlässigkeit der Reisezeit in der internationalen Literatur beschäftigen sich mit dem dritten Punkt, der P-Seite der Zuverlässigkeit (P für Preis). Der monetäre Wert der Zuverlässigkeit wurde in Großbritannien, Schweden, Norwegen, den Niederlanden, Frankreich, Schweiz, Brasilien, Australien und den USA untersucht. Einige dieser Länder verfügen jetzt über offiziell empfohlene monetäre Werte für Zuverlässigkeit in der Nutzen-Kosten-Analyse (Niederlande, Schweden) oder sind auf dem Weg dorthin. Am häufigsten findet man in der Literatur Werte für Fahrten mit dem PKW; zudem gibt es auch

Werte für den öffentlichen Verkehr und den Güterverkehr auf der Straße, Schiene und Binnenwasserstraßen.

Der erste und zweite Punkt (beide handeln von der "Q-Seite" der Zuverlässigkeit, Q von quantity/ Menge) sind bisher nur zu einem geringeren Grad untersucht worden. So gut wie alle Studien zur Q-Seite, beziehen sich auf den Straßenverkehr und haben versucht, die Standardabweichung der Fahrzeit auf der Autobahn anhand der Reisezeit, der inversen Geschwindigkeit, Staus oder des Verkehrsflusses zu erklären. Die dafür verwendeten Daten waren automatische Geschwindigkeits- und Verkehrsflussmessungen von Induktionsschleifen oder GPS-Daten. Für den Schienenverkehr und die Binnenschifffahrt konnten wir nur sehr wenige Studien über die Q-Seite der Zuverlässigkeit identifizieren.

Die bestehenden Schwankungen der Reisezeit werden verursacht durch Variationen der Nachfrage in Bezug auf die Tageszeit, den Wochentag, die Jahreszeit, das Wetter, Baustellen und andere Arbeiten, Unfälle, extreme Ereignisse und Katastrophen. Wir empfehlen, die beiden letztgenannten Einflüsse von der Operationalisierung der Zuverlässigkeit auszunehmen, aber sämtliche Schwankungen, die die Reisenden und Speditionen wissen (erwarten) können, in die erwarteten Zeitgewinne aufzunehmen und die verbleibende unbekannt Variation in die Zuverlässigkeitsgewinne aufzunehmen.

Für die P-Seite empfehlen wir Stated-Preference-Umfragen (in Übereinstimmung mit fast allen Experten), sowohl für den Personenverkehr als auch für den Güterverkehr. In den kommenden Jahren sind in Deutschland neue Stated-Preference-Umfragen (auch in Kombination mit Revealed- Präferenz-Daten) zur Ableitung von Zeitkostensätzen und Werten für die Zuverlässigkeit im Personenverkehr geplant. Diese Daten werden auch verwendet, um Verkehrsträgerwahlmodelle zu schätzen, die als Prognosemodelle verwendet werden können, um die Auswirkungen von politischen Maßnahmen im Rahmen der BVWP vorherzusagen. Ebenso ist für den Gütertransport eine Studie über Kostensätze für Zeit und Zuverlässigkeit geplant.

In unseren Empfehlungen für die Q-Seite unterscheiden wir drei Methoden:

- Methode 1, die relativ einfach in den nächsten zwei Jahren zu implementieren ist
- Methode 2, die aufwendiger ist und sich in etwa vier Jahren realisieren ließe
- Methode 3 mit einer idealtypischen und langfristigen Lösung.

Im Verfahren 1 werden die Verkehrsmodelle nicht verändert. Allerdings werden die Ergebnisse in Form von Reisezeiten auf der Straße zwischen Quelle und Ziel verwendet (siehe Abbildung 1), um die Standardabweichung der Reisezeit für den Bezugsfall (ohne Infrastrukturprojekt) und den Planfall (mit Projekt) zu berechnen. Dies erfolgt relationsbasiert mit Hilfe eines Regressionsmodells für den Straßenverkehr, das auf Daten zu den Fahrzeiten auf deutschen Autobahnen und sonstigen Hauptstraßen geschätzt werden muss. Für die Schiene und Binnenwasserstraße müssen auch Modelle oder Tabellen ermittelt werden, die die Standardabweichung der Reisezeit erklären. Als erklärende Variablen können technische Störungen (Züge, Schienen, Schleusen) und der Nachfrageüberhang, aber auch direkte Maßnahmen (wie Elektrifizierung) herangezogen werden. Das Modell für die Unzuverlässigkeit ist ein Post-Processing-Modul, das an das aktuelle Verkehrsmodell angeschlossen wird und das Zuverlässigkeitsgewinne für den Gebrauch in der Nutzen-Kosten-Analyse liefert.

Im Verfahren 2, wird die Zuverlässigkeit auch in die Module für die Verkehrsmittelwahl und Routenwahl des Verkehrsmodells einbezogen. Im Verfahren 3 erzeugt eine Monte Carlo-Simulation die Variationen in der Nachfrage und Kapazität, die zu Unterschieden in der Reisezeit führen. Ausgehend davon kann man den Mittelwert und die Standardabweichung für den Einsatz in der Nutzen-Kosten-Analyse berechnen.

Für die Binnenschifffahrt ist die Unzuverlässigkeit der Transportzeit wahrscheinlich nicht die wichtigste Form der Unzuverlässigkeit darstellt. Von größerer Bedeutung scheinen die Schwankungen des Wasserstandes von Flüssen und Kanälen, die Unternehmen daran hindern, größere Schiffe einzusetzen bzw. die potenzielle Nutzlast auszuschöpfen. Diese sogenannte Zuverlässigkeit der Kapazität kann durch Infrastrukturprojekte erhöht werden. Es wäre vorteilhaft, wenn diese Nutzengewinne in die Nutzen-Kosten-Analyse einbezogen würden. Dazu benötigt man Funktionen für die Transportkosten, die die Auswirkungen von Veränderungen der Wasserstände berücksichtigen. Dazu könnten Stated-Preference-Analysen herangezogen werden.

Zuverlässigkeit sollte aufgenommen werden, und das ist für den BVWP 2015 unter gewissen Einschränkungen möglich (obwohl es noch ganz wenig internationale Erfahrungen gibt bei Schiene und Güterverkehr).

Es muss noch viel Forschungsarbeit investiert werden, aber das kann sinnvoll sein. Wir empfehlen man sollte zeitnah zügig weiterarbeiten und versuchen Methodik 1 noch für den BVWP 2015 umzusetzen. Wenn das nicht gelingen würde oder nur in Teilen, kann man auf Zuschlagsfaktorenverfahren zurückfallen (wie jetzt in den Niederlanden verwendet als vorläufige Lösung). Wenn Zuverlässigkeit der Reisezeit nur für vereinzelte Verkehrsträger (insb. Straßenverkehr) umgesetzt werden könnte, dann ist das kein Problem, wenn die Bewertungsergebnisse nicht verkehrsträgerübergreifend verglichen werden.

Referenzen

- Abdel-Aty, M. A., Kitamura, R. and Jovanis, P. P. (1995) Investigating Effect of Travel Time Variability on Route Choice Using Repeated-Measurement Stated Preference Data, Transportation Research Record, No. 1493, pp. 39-45.
- Abdelghany, A.F. and Mahmassani, H.S. (2003) Temporal-Spatial Microassignment and Sequencing of Travel Demand with Activity-Trip Chains. Transportation Research Record 1831, pp. 89-97.
- Accent and Hague Consulting Group (1995) The value of travel time on UK roads – 1994; Final report, Report for the Department of Transport, Accent and HCG.
- Ackermann, T. (1998) Die Bewertung der Pünktlichkeit als Qualitätsparameter im Schienenpersonenverkehr auf Basis der direkten Nutzenmessung, Verkehrswissenschaftliches Institut der Universität Stuttgart.
- Adler, T., W. Olsen, and Y. Dehghani. (2004) A Facility-Level Model of Peak Spreading, Presented at the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.
- Adler, T., Y. Dehghani, M. Doherty, J. Klodzinski, and W. Olsen. (2005) A Multi-Period Toll Mode Choice Model for Florida's Turnpike Enterprise, Proceedings of the 10th TRB Transportation Planning Applications Conference, Portland, OR.
- Adviesdienst Verkeer en Vervoer (1998) Advies inzake reistijdwaardering van personen; AVV, Rotterdam.
- Adviesdienst Verkeer en Vervoer (2003) Klantenbarometer Openbaar Vervoer: Het meten van belang, AVV, Rotterdam.
- Adviesdienst Verkeer en Vervoer (2003) Probleemstellende notitie hoofdonderzoek reistijdwaardering goederen wegvervoer; AVV, Rotterdam.
- Ahrens, G.-A. et al. (2009) Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme, Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Heft 1/2009, S.1-28.
- Ahuja, S. T. Van Vuren, S. Porter and J. Fearon (2002) Assessing measures which reduce incident related delays and travel time variability in Proceedings European Transport Conference, 9-11 September 2002, Homerton College Cambridge. UK.
- Allen, W.B., M. Mahmoud and D. McNeil (1985) The importance of time in transit and reliability of transit time for shippers, receivers and carriers; Transportation Research B 19, 447-456.

- Appiah, J. (2004) An Examination of Factors Affecting High Occupancy/Toll Lane Demand. Master's Thesis. Department of Civil Engineering. Texas A&M University.
- Arcadis Infra (2003) Vertragingen in het binnenlands distributievervoer 2 (VERDI 2) Rapport in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DGG, afdeling wegvervoer, Amersfoort.
- Arellana, J., Daly, A., Hess, S., Ortuzar, J., Rizzi, L. (2012) Developing an advanced departure time choice model for transport planning in emerging 3 economies, draft version submitted for 91st Annual Meeting TRB Conference 2012.
- Arnott, R. De Palma, A., Lindsey, R., (1999) Information and time-of-usage decisions in the bottleneck model with stochastic capacity and demand. *European Economic Review* 43 (3), 525-548.
- Arup (2002) Journey Time Variability, Deliverable D6.1, Modelling and Appraisal of Journey Time Variability – Review of Earlier Research, Research on this Contract, and Detailed Proposals for Further Research, Report to UK Department of Transport
- Arup (2003) Frameworks for Modelling the Variability of Journey Times on the Highway Network. London: Arup.
- Asakura, Y. (1996) Reliability Measures of an Origin and Destination Pair in a Deteriorated Road Network with Variable Flows. In: Proceedings of the 4th Meeting of the EURO Working Group in Transportation.
- Asakura, Y. (1999) Evaluation of network reliability using stochastic user equilibrium. *Journal of Advanced Transportation*, 33, 147-158.
- Asakura, Y. and M. Kashiwadani (1991) Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow; Proceedings of the 19th PTRC Summer Annual meeting, Brighton, 73-84.
- Asensio, J. and A. Matas (2007) An empirical estimation of the value of travel time reliability for commuters in Barcelona, paper presented at ETC 2006, Strasbourg.
- Asensio, J. and A. Matas (2007) Value of time and reliability on C-32 highway near Barcelona. Studies on public works and transportation, n. 107, pp. 105-124. Spanish Ministry of Public Works (in Spanish)
- Asensio, J. and A. Matas (2008) Commuters' valuation of travel time variability, *Transportation Research E*, 44 1074–1085.
- Association of Train Operating Companies (ATOC) (2002) Passenger Demand Forecasting Handbook. London: ATOC.
- Astra: Bewertung von Qualitätsmerkmalen im Güterverkehr. 2002
- Atkins Consultants LTD (1997) Bus Reliability Study – Stated Preference Research, Great Britain.
- Austrroads (2011) Valuation of Travel Time Reliability: A Review of Current Practice, <https://www.onlinepublications.austrroads.com.au/items/AP-R391-11>
- Avineri, E, and P.H.L. Bovy, Practical aspects in applying prospect theory approach in modelling travellers' responses to network uncertainties. Proceedings of the Third international Symposium on Transportation Network Reliability, 19-20 July, 2007, The Netherlands

- Avineri, E. and Prashker, J.N. (2005) Sensitivity to travel time variability: Travelers learning perspective, *Transportation Research Part C*, 13(2), 157–183.
- Axhausen, K.W. (2008) Erfassung der Nutzenfaktoren Zeit und Zuverlässigkeit über Zahlungsbereitschaftsanalysen, Expertenworkshop zur Bewertungsmethodik für Verkehrsinfrastrukturanalysen, BMVBS, Berlin, November 2008.
- Axhausen, K.W., S. Hess, A. König, G. Abay, J. Bates, and M. Bierlaire (2007) State of the Art Estimates of the Swiss Value of Travel Time Savings. Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. (CD-ROM)
- Aymerich, O. And F. Robusté (1990) Network reliability under exceptional conditions. *Journal of the Spanish Ministry of Transportation, Tourism and Communications*, n. 42, pp. 25-37, ISSN #0212-1506
- BAH and ITS 2004: Booz Allen Hamilton and Institute for Transport Studies, University of Leeds, Freight User Benefits Study, 2004. Final Report for Strategic Rail Authority Available at http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_railways/documents/page/dft_railways_611117.pdf.
- Basbas, S. and C. Taxilaris (2001) The quality of an urban public transport system as perceived by the users; European Transport Conference – 2001, Cambridge.
- Bates, J. (2010) Stock-take of Travel Time Variability, produced for ITEA Division, UK Department for Transport, Abingdon, November 2010.
- Bates, J. (2009) An Agenda for Research on Reliability, Keynote Address to European Transport Conference, Leeuwenhorst, Netherlands
- Bates, J. (2000) Reliability – The Missing Model Variable, Ninth International Conference on Travel Behaviour, Gold Coast, Queensland, 2000.
- Bates, J. (1994) The effect of travel time reliability on travel behaviour, 41st North American Meetings of the Regional Science Association International, held at Sheraton Falls View Hotel, 17-20 November
- Bates, J., Black, I., Fearon, J., Dong, Y., Martin, L. (2011) Journey Time Variability on Motorway Links, report for the UK Highway Agency, September 2011.
- Bates, J., Black, I., Fearon, J., Gilliam, C., Porter, S. (2002) Supply Models for Use in Modelling the Variability of Journey Times on the Highway Network, PTRC European Transport Conference, Seminar on Applied Transport Methods, Cambridge
- Bates, J., Black, I., Fearon, J., Gilliam, C., Porter, S. (2004) Introducing reliability into travel demand models, PTRC European Transport Conference, Seminar on Applied Transport Methods, Strasbourg
- Bates, J., Black, I., Fearon, J., Gilliam, C., Kerr, A. and Porter, S. (2004) Research programme measures the variability of urban journey times, *Traffic Engineering & Control* December, pp 409-15
- Bates, J., Black, I., Fearon, J., Gilliam, C., Drury, C. (2010) Developing a Model of Travel Time Variability for Congested Motorways, European Transport Conference, Transport Planning Models and Methods Seminar, Glasgow
- Bates, J., Dix, M. and May, T. (1987) Travel Time Variability and its Effect on Time of Day Choice for the Journey to Work, *Transportation Planning Methods*, Proceedings of seminar C held at the PTRC Summer Annual Meeting, University of Bath, Vol. P290, pp. 293-311.

- Bates, J., Polak J., Jones, P. and Cook, A. (2001) The valuation of reliability for personal travel, *Transportation Research E (Logistics and Transportation Review)*, 37-2/3, 191-229.
- Bates, J., Jones P, Polak J and Han X-L (1997) The Investigation of Punctuality and Reliability: Re-analysis of Some Existing Data Sets, Report submitted to Rail Operational Research, January 1997
- Bates, J., Jones, P., Polak, J. and Cook, A. (1999) Improved Methods of Representing Travel Time Reliability in SP Experiments, PTRC European Transport Conference, Transportation Planning Methods Seminar, Cambridge
- Bates, J., Jones, P., Polak, J. and Cook, A. (2001) The investigation of punctuality and reliability in: A report to the Association of Train Operating Companies (ATOC).
- Bates, J., Polak J., Jones P., Cook A.J. (2001) The valuation of reliability for personal travel. *Transportation Research Part E*, 37 (2-3), 191-230.
- Batley, R. (2007) Marginal valuations of travel time and scheduling, and the reliability premium. *Transportation Research Part E, Logistics and Transportation Review*, 43 (4), pp387-408.
- Batley, R. and Daly, A. (2004) Departure time choice under uncertainty: a model of random utility maximisation for wagers. Paper presented at the European Transport Conference, Strasbourg, October 2004.
- Batley, R., Dargay, J., Wardman, M. (2010) The impact of lateness and reliability on passenger rail demand, *Transportation Research Part E*, 47, 61-72.
- Batley, R., Dargay, J., Ibanez, N., Wardman, M., and Shires, J. (2008) An econometric analysis of the impact of reliability on passenger rail demand, presented at ETC 2008.
- Batley, R., Grant-Muller, S., Nellthorp, J., de Jong, G., Watling, D., Bates, J., Hess, S. and Polak, J. (2008) Multimodal Travel Time Variability, Final Report, report for the UK Department of Transport, ITS Leeds, John Bates and Imperial College.
- Batley, R., Ibanez, J. N., Wardman, M., Shires, J. and Whelan, G. (2007) A Discrete Choice Study to Assess the Impact of Reliability on Passenger Rail Demand, Paper presented at the European Transport Conference in Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Batley, R. and Ibáñez, N. (2009) Randomness in preferences, outcomes and tastes, an application to journey time risk, *International Choice Modelling Conference*, Yorkshire, UK.
- Batley, R. and Ibáñez, N. (2011) Randomness in preference orderings, outcomes and attribute tastes; an application to journey time risk, working paper.
- Bell, M.G.H. (2000) A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks; *Transportation Research part B-Methodology*, 34-6, 533-545.
- Bell, M.G.H., and C. Cassir (2000) *Reliability of Transport Networks*, Research Studies Press, Ltd, Baldock, England.
- Bell, M.G.H., Cassir, C., Iida, Y. and Lam, W. H. K. (1999) A sensitivity-based approach to network reliability assessment. IN CEDAR, A. (Ed.) *In: Proceedings 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Jerusalem*. Oxford.
- Bell, M.G.H. and Y Iida (1997) *Transportation network analysis*; Wiley, Chichester, West Sussex.
- Berdica, K. (2002) An introduction to road vulnerability: what has been done and should be done;

Transport policy, 9, 117-127.

Bertini, R., Lyman, K. (2007) Developing improved travel time reliability measures for real-time and archived ITS data applications.

Besseling, P., de Groot, W. and Verrips, A. (2004) Economische toets op de Nota Mobiliteit, CPB document 65, CPB, The Hague.

Beuthe, M., Bouffieux, C.h. (2008) Analysing qualitative attributes of Freight Transport from Stated Orders of Preference Experiments. *Journal of Transport Economics and Policy* 42 (1), 105-128.

Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH, BVU (2004) BVWP 2003 – Teilbereiche Schienengüterverkehr und Bewertung Schiene–Vortrag in Freiburg.

Bhat, C. R. and Sardesai, R. (2005) On Examining the Impact of Stop-Making and Travel Time Reliability on Commute Mode Choice: An Application to Predict Commuter Rail Transit Mode for Austin, TX, Proceedings of the 84th TRB annual meeting, Washington, D.C.

Bhat, C.R. and Sardesai, R.(2006) The impact of stop-making and travel time reliability, *Transportation Research B*, 40(9), 709-730.

Black, I.G., Fearon, J. and Gilliam, C. (2009) Forecasting and Appraising Travel Time Variability in Urban Areas: A Link-Based Approach, European Transport Conference, Leeuwenhorst

Black, I.G. and Towriss, J. G. (1993) Demand Effects of Travel Time Reliability, Centre for Logistics and Transportation, Cranfield Institute of Technology, Great Britain.

Blanchard Company, undated, “How Union Pacific measures train performance”, Web site, <<http://www.rblanchard.com/resources/texts/unionpacificperf.html>>

Bogers, E.A.I. and van Zuylen, H.J. (2005) De rol van betrouwbaarheid bij routekeuze van vrachtwagenchauffeurs (The importance of reliability in route choices of truck drivers). *Tijdschrift Vervoerwetenschap*, 41-3, pp. 26-30.

Bogers, E.A.I. and van Zuylen, H. J. (2004) The Importance of Reliability in Route Choice in Freight Transport for Various Actors on Various Levels. *Proceedings European Transport Conference*. Strasbourg, France.

Bogers, E.A.I., Viti, F., Hoogendoorn, E. P. and van Zuylen, H. J. (2005) Valuation of Different Types of Travel Time Reliability in Route Choice – A Large Scale Laboratory Experiment, Proceedings of the 85th TRB annual meeting, Washington, D.C.

Bogers, E.A.I and H. van Lint, (2007) Traveler’s perception of reliability: How to measure and how to influence? Proceedings of the Third international Symposium on Transportation Network Reliability, 19-20 July, 2007, The Netherlands

Bonsall, P. (2000) Travellers’ response to uncertainty. In: Bell, M.G.H. and C. Cassir (eds.) *Reliability of Transport Networks*; Research Press Ltd., Baldock, U.K.

Bonsall, P. (2003) Traveller behaviour: Decision-making in an unpredictable world; Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Booz-Allen and Hamilton Inc. (1998) 1998 California Transportation Plan: Transportation System Performance Measures: Final Report; California Department of Transportation, Transportation System Information Program, Sacramento, California, USA.

- Borger, B. de and M. Fosgerau (2008) The trade-off between money and travel time: A test of the theory of reference-dependent preferences, *Journal of Urban Economics*, 64, 101-115.
- Börjesson, M. (2009) Modeling the preference for scheduled and unexpected delays. *Journal of Choice Modelling*, 2(1), pp.29-50
- Börjesson, M. (2008) Joint RP-SP data in mixed logit analysis of trip timing decisions, *Transportation Research E*, 44, 1025-1038.
- Börjesson, M. and Eliasson, J. (2011) On the use of "average delay" as a measure of train reliability, *Transportation Research A*, 45, 171-184.
- Börjesson, M. and Eliasson, J. (2011b) Experiences from the Swedish value of time study, CTS working paper, Centre for Transport Studies, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Börjesson, M. and Eliasson, J. (2008) Train passengers' valuation of travel time unreliability, presented at ETC 2008.
- Börjesson, M., Eliasson, J. and J.P. Franklin (2011a) Valuation of travel time variability in scheduling versus mean-variance models, Centre for Transport Studies, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Börjesson, M., Fosgerau, M., and Algers, S. (2011b) Catching the Tail: Empirical Identification of the Distribution of the Value of Travel Time. Forthcoming *Transportation research Part A*.
- Börjesson, M., Fosgerau, M., and Algers, S. (2011c) On the income elasticity of the value of travel time. Forthcoming *Transportation research Part A*.
- Brilon, W. (2005) Randomness and Reliability in Freeway Traffic Flow. in: *The reliability of travelling and the robustness of transport systems. Proceedings of a Symposium, May 9th, 2005, Delft, The Netherlands, TRIAL Research School, p. 45 – 68, ISBN 90-5584-000-9, Delft*,
- Brilon, W., Geistefeldt, J. and Regler, M. (2005) Reliability of Freeway Traffic Flow: A stochastic Concept of Capacity, *Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp. 125 – 144, College Park, Maryland, Elsevier, ISBN 0-08-044680-9,
- Brilon, W., Geistefeldt, J. and Regler, M. (2006) Entwicklung von Zielgrößen für die Verkehrsbeeinflussung auf Bundesfernstraßen in Hessen, Ruhr-Universität Bochum und Hessisches Landesamt für Straßen und Verkehrswesen- Verkehrszentrale Hessen, Schlussbericht Dez. 2006.
- Brilon, W., Geistefeldt, J. and Zurlinden, H. (2007) Implementing the concept of reliability for highway capacity analysis. *Transportation Research Record*, No. 2027, pp. 1 - 8 2007
- Brilon, W., Regler, M. and Geistefeldt, J. (2005) Zufallscharakter der Kapazität von Autobahnen und praktische Konsequenzen, in: *Straßenverkehrstechnik*.
- Brownstone, D., Chosh, A., Golob, T.F., Kazimi, C. and van Amelsfort, D. (2003) Drivers' Willingness-to-Pay to Reduce Travel Time: Evidence from the San-Diego I-15 Congestion Pricing Project, *Transportation Research*, 37A(4), 373-388.
- Brownstone, D. and Small, K. (2005) Valuing time and reliability: assessing the evidence from road pricing demonstrations. *Transportation Research Part A* 39, 279-293.
- Bruinsma, F.R., Peeters, P., Rietveld, P. and van Vuuren, D.J. (1999) Betrouwbaarheid van de openbaarvervoerketens; *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, 2/99.

- Bruinsma, F.R., Rietveld, P. and van Vuuren, D.J. (1999) Unreliability in public transport chains; Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Bruzelius, N. (2001) The valuation of logistics improvements in CBA of transport investments – a survey, SAMPLAN, SIKA, Zweden.
- Buck Consultants International (2002) Evaluatie OEI-leidraad, Rapport in opdracht van Ministerie van Economische Zaken en Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag mei 2002.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2003) Grundlagen für die Zukunft der Mobilität in Deutschland. Bundesverkehrswegeplan 2003, Bonn, Druckerei des BMVBW
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2003) Zusammenfassung Bewertungsergebnisse BVWP 2003 PRINS (zip.file Projektbewertungen)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2005) Die gesamtwirtschaftliche Bewertungsmethodik des Bundesverkehrswegeplan 2003, Bonn, Druckerei des BMVBW.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011) Leistungsbeschreibung für die Vergabe des Indikators „Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs“ im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung, BMVBS, Berlin.
- Bureau of Transport Economics (1982) The Value of Travel Time Savings in Public Sector Evaluation. Occasional Paper 51, Bureau of Transport Economics, Canberra, Australia.
- Bus Partnership Forum (2003) Understanding customer needs – Final report; Bus Partnership Forum (UK).
- BVU und Intraplan (2010). Überprüfung des Bedarfsplans für die Bundesschienenwege
- BVU, ITP, IVV, Planco (ohne Jahresangabe). Skizze Methodik Globalprognose
- BVU, ITP, IVV, Planco (ohne Jahresangabe). Skizze Methodik Schiene
- BVU, ITP, IVV, Planco (ohne Jahresangabe). Skizze Methodik Straße
- BVU, ITP, IVV, Planco (ohne Jahresangabe). Skizze Methodik Wasserstraße
- Cambridge Systematics (2006) Traffic congestion and reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation. Cambridge Systematics, 2006.
- Cambridge Systematics, Texas A&M University, University of Washington, Dowling Associates, Street Smart, H. Levinsohn et al. (2010) Analytical procedures for determining the impacts of reliability mitigation strategies, Final report SHRP 2 project L03, Strategic Highway Research Program 2.
- Carey, M. (1999) Ex ante heuristic measures of schedule reliability. *Transportation Research Part B: Methodological*, 33, 473.
- Carrion and Levinson (2011) Value of travel time reliability: a review of current evidence. Working paper.
- Caspar, C. (2011) Regret Aversion, Risk Aversion, and Their Impact on Route Choice and Traffic Equilibria. Transportation Research Board Annual Meeting 2011, Paper #11-0056.
- Cassir, C., H. Yang, H., L.O. Ka Kan, W.H. Tang and M.G.H. Bell (2001) Travel time versus capacity reliability of a road network (Chapter 9). Reliability of transport networks.

- Cetin, M., List, G. F. and Zhou, Y. (2005) Factors Affecting the Minimum Number of Probes Required for Reliable Travel Time Estimation. *84th Transportation Research Board*. Washington D.C., USA.
- Chaumet, R. (2008) Berücksichtigung des Faktors Zuverlässigkeit bei der Bewertung von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen in der Schweiz.
- Chaumet, R., Axhausen, K.W., Bernard, M., Bruns, F., Locher, P., Lüthi, M., Imhof, D. (2007) Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen. Forschungsarbeit SVI 2002/002
- Chan, K.S., and Lam, W.H.K. (2005) Impact of Road Pricing on the Network Reliability, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2060-2075
- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H. (1999) A capacity related reliability for transportation networks. *Journal of Advanced Transportation*, 2 (vol. 33) pp. 183-200.
- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H. (2002) Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results; *Transportation Research part B-Methodology*, 36-3, 225-252.
- Chen, A., Ji, Z. and Recker, W. (2002) Travel time reliability with risk-sensitive travelers; *Transportation network modeling 2002 Transportation research record*, 1783, 27-33.
- Chen, A., Ji, Z. and Recker, W. (2003) Effect of route choice models on estimation of travel time reliability under demand and supply variations, In *The Network Reliability of Transport*, Eds. Michael G.H. Bell & Yasunori IIDA, pp.93-118, Elsevier Science Ltd.
- Chen, C., Skabardonis, A. and Varaiya, P. (2002) Travel time reliability as a measure of service; *Transportation Research Board*, Washington, USA.
- Chen, K., Yu, L. Guo J., and Wen, H. (2007) Characteristics Analysis of Road Network Reliability in Beijing Based on the Data Logs from Taxis. Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC (CD-ROM).
- Clark, S.D. and Watling, D.P. (2006) Applications of Sensitivity Analysis for Probit Stochastic Network Equilibrium. *European Journal of Operational Research* 175, 894-911.
- Clark, S.D. and Watling, D.P. (2005) Modelling network travel time reliability under stochastic demand. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2 (vol. 39) pp. 119-140.
- Cohen, H. and Southworth, F. (1999) On the measurement and valuation of travel time variability due to incidents on freeways; *Journal of transportation and statistics*, 2-2, 123-131.
- Collins, J.A., Abrantes, P.A.L. and Chintakayala, P.V. (2010) The Valuation of Reliability for Two-Legged Bus Journeys Involving Interchange, presented at WCTR 2010, Lisbon.
- Cook, A.J., Jones, P. Bates, J.J., Polak, J. and Haigh, M. (1999) Improved methods of representing travel time reliability in SP experiments; *European Transport Conference – 1999*, Cambridge.
- Connors, R.D. and Sumalee, A. (2009) A Network Equilibrium Model with Travellers' Perception of Stochastic Travel Times, *Transportation Research Part B*, 43(6), 614-624.
- Copley, G., Murphy, P. and Pearce, D. (2002) Understanding and valuing journey time variability; *European Transport Conference – 2002*, Cambridge.

- CSI (2005) Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation. Final Report. Prepared for Federal Highway Administration by Cambridge Systematics, Inc. with Texas Transportation Institute.
- CUTR (2009) Concas, S. and A. Kolpakov. Synthesis of Research on Value of Time and Value of Reliability. Prepared by the Center for Urban Transportation Research of University of South Florida for the FDOT.
- CPB and NEI (2000) Evaluatie van infrastructuurprojecten: leidraad voor kosten batenanalyse (Evaluation of infrastructural projects: guide for cost-benefit analysis), CPB/NEI, The Hague/Rotterdam.
- Danielis, R., Marcucci, E. and Rotaris, L. (2005) Logistics managers' stated preference for freight service attributepp. Transportation Research Part E 41, pp. 201-215. Elsevier.
- Dale, H.M., S. Porter and I. Wright (1996) Are there quantifiable benefits from reducing the variability of travel times? European Transport Conference – 1996, London.
- Dargay, J. , R. Batley, J.N. Ibanez, M. Wardman and J. Shires (2008) An econometric analysis of the impact of reliability on passenger rail demand, Paper presented at ETC 2008, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Demirel, E. (2011) Economic Models for Inland Navigation in the Context of Climate Change. Doktorarbeit. Freie Universität Amsterdam
- Deardorff, A. V. 2003, “The importance of the cost and time of transport for international trade”, Paper presented to “Time and transport” Round Table 127, ECMT, Paris, 4th-5th December.
- Department for Transport (1998) A new deal for trunk roads in England: guidance on the new approach to appraisal, <<http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/rdg/multimodal/aneuadealfortrunkroadsinengla5491>>
- Department for Transport (2002) Multi-modal transport appraisal investment <<http://www.dft.gov.uk/162259/165223/multimodalappraisal>>
- Department for Transport (2004a) TAG Unit 2.5 The Appraisal Process. Online at: www.webtag.org.uk
- Department for Transport (2004d) TAG Unit 3.5.3 Transport User Benefit Calculation. Online at: www.webtag.org.uk.
- Department for Transport (2004e) TAG Unit 3.9.2 MSA: Cost-Benefit Analysis. Online at: www.webtag.org.uk.
- Department for Transport (2005) Transport, Wider Economic Benefits and Impacts on GDP. London: DfT.
- Department for Transport (2006) “Journey time reliability on motorways and trunk roads: measure for PSA target published”, Press Notice, 14 February, <<http://www.gnn.gov.uk/environment/fullDetail.asp?ReleaseID=187497&NewsAreaID=2&NavigatedFromDepartment=True>>
- Department for Transport (2006a) TAG Unit 3.5.4 Cost-Benefit Analysis. Online at: www.webtag.org.uk.

- Department for Transport (2006b) TAG Unit 3.5.9 The Estimation and Treatment of Scheme Costs. Online at: www.webtag.org.uk.
- Department for Transport (2007a) TAG Unit 3.5.6 Values of Time and Vehicle Operating Costs. Online at: www.webtag.org.uk.
- Department for Transport (2007b) TAG Unit 3.5.7 The Reliability Sub-Objective, unpublished draft, March 2007.
- Department for Transport (DfT) (2007c) TAG Unit 3.13.1 Guidance on Rail Appraisal. Online at: www.webtag.org.uk.
- Department for Transport (2007d) Towards a Sustainable Transport System - Supporting Economic Growth in a Low Carbon World. Available at www.dft.gov.uk.
- Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR) (1998) Guidance on the New Approach to Appraisal. London: DETR.
- D'Este, G.M. and M.A.P. Taylor (2003) Network vulnerability: an approach to reliability analysis at the level of national strategic transport networks. The Network Reliability of Transport, Bell, M.G.H. and Y. Iida (eds.), Pergamon, Oxford, UK, 23 - 44.
- Diecidue, E., and P. Wakker (2001) On the intuition of Rank-Dependent Utility, *Journal of Risk and Uncertainty*, 23, 281-298.
- Dimitriou, L., Stathopoulos, A. and Tsekeris, T. (2008) Reliable stochastic design of road network systems. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 3, 549-574.
- Dong, J. and Mahmassani, H.S. (2008a) Flow Breakdown and Travel Time Reliability. Submitted for publication.
- Dong, J. and Mahmassani, H.S. (2008b). Flow Breakdown, Travel Reliability and Real-time Information in Route Choice Behavior. Submitted for publication.
- Douglas Economics (2004) Value Of Rail Travel Time, RailCorp (www.railcorp.info).
- Douglas Economics (2006) Value and Demand Effect of Rail Service Attributes, RailCorp (www.railcorp.info).
- Du, Z.-P. and Nicholson, A. (1997) Degradable transportation systems: Sensitivity and reliability analysis. *Transportation Research Part B: Methodological*, 31, 225.
- Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Dutch Ministry of Economic Affairs (2004) Aanvulling leidraad OEI-directe effecten, (Appendix to Evaluation of infrastructural projects; Guide for cost-benefit analysis) Den Haag. (In Dutch)
- DVZ (Deutsche Verkehrs-Zeitung/Deutsche Logistik-Zeitung) (2011) Kombiniertes Verkehr muss Qualität verbessern, DVZ, Nr. 56, 65. Jahrgang.
- ECMT (European Conference of Ministers of Transport). (2006a) Inland Waterways and Environmental Protection, OECD, Paris.
- ECMT (European Conference of Ministers of Transport). (2006b) Strengthening Inland Waterway Transport. Pan-European Co-operation for Progress. OECD: Paris.
- ECMT/ITF (2007) Congestion, a global challenge, OECD, Paris.

- Eddington R (2006) The Eddington Transport Study: Main Report. London: HM Treasury
- Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang and A.C.P. Verster (2000) Evaluatie van infrastructuurprojecten: leidraad voor de kosten-batenanalyse; Onderzoeks-programma Economische Effecten Infrastructuur; CPB and NEI, Den Haag and Rotterdam.
- Elefteriadou, L., and Cui, X. (2007) Travel Time Reliability and Truck Level of Service on the Strategic Intermodal System. Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC (CD-ROM).
- Elefteriadou, L., Chrysikopoulos, G. and Lombard, M. (2010) Travel Time Reliability Modeling For Florida, Transportation Research Center, University of Florida.
- Eliasson, J. (2004) Car drivers' valuations of travel time variability, unexpected delays and queue driving, Proceedings of the European Transport Conference, 2004.
- Eliasson, J. (2006) Forecasting travel time variability, paper presented at ETC 2006, Strasbourg
- Eliasson, J. (2007) The Relationship between Travel Time Variability and Road Congestion, paper presented at 2007 World Conference on Transport Research [WCTR]
- Emam, E. B. and Al-Deek, H. (2005) A New Methodology for Estimating Travel Time Reliability in a Freeway Corridor. 84th Transportation Research Board. Washington D.C., USA.
- Emmerink, R.H.M., Axhausen, K.W., Nijkamp, P, and Rietveld, P. (2005) The Potential of Information provision in a Simulated Road Network with Non-Recurrent Congestion, *Transportation Research* **3C**, 293-309.
- Emmerink, R.H.M, Verhoef, E.T., Nijkamp, P., Rietveld, P. (1998) Information Effects in Transport with Stochastic Capacity and Uncertainty Costs. *International Economic Review* 39 (1), 89-110.
- Engelson, L. (2011) Properties of Expected Travel Cost Function with Uncertain Travel Time. Transportation Research Board Annual Meeting 2011, Paper #11-2709.
- Engelson, L. and Fosgerau, M. (2011) Additive measures of travel time variability. Forthcoming Transportation Research Part B.
- Ettema, D., Tamminga, G., Timmermans, H. and Arentze, T. (2005) A micro-simulation model system of departure time using a perception updating model under travel time uncertainty. Transportation Research Part A 39, pp. 325-344
- Ettema, D. and Timmermans, H. (2003) Modeling Departure Time Choice in the Context of Activity Scheduling Behavior. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1831 / 2003
- Ettema, D. and Timmermans, H. (2006) Costs of travel time uncertainty and benefits of travel time information: Conceptual model and numerical examples. *Transportation Research C*, 14, 335-350.
- FDOT (2000) The Florida Reliability Method in Florida's Mobility Performance Measures Program.
- Federal Ministry of Transport, Building and Housing (2002) Basic features of the macroeconomic evaluation methodology. Federal Transport Infrastructure Plan 2003. Berlin
- Federal Ministry of Transport, Building and Housing (2005) Macroeconomic evaluation methodology. Federal Transport Infrastructure Plan 2003. Berlin

- Ferrari, P. (1988) The Reliability of the Motorway Transport System. *Transportation Research Part B*, 228, 291-310.
- Ferrari, P. (1989) The Effect of Driver Behaviour on Motorway Reliability. *Transportation Research Part B*, 238, 139-150.
- Ferrari, P. (1991) The Control of Motorway Reliability. *transportation Research Part A*, 25A, 419-427.
- FHWA (2004) Traffic Congestion and Reliability: Linking Solutions to Problems.
- FHWA (2005) Traffic Congestion and Reliability, Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation.
- FHWA (2006) Travel time reliability: Making it there on time, all the time. United States Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Finnish Road Administration (2000) Tie- ja liikennetekniikka. Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi. Tielaitoksen selvityksiä 14/2000. Helsinki.
- Fosgerau (2006) Using nonparametrics to specify a model to measure the value of time, *Transportation Research A*, 41 (2007), 842-856.
- Fosgerau, M. (2006) Investigating the distribution of the value of travel time savings, *Transportation Research B*, 40, 688-707.
- Fosgerau, M. (2009) The marginal social cost of headway for a scheduled service. *Transportation Research Part B*, Volume 43, Issue 8-9, pp. 813-820.
- Fosgerau, M. (2010) On the relation between the mean and variance of delay in dynamic queues with random capacity and demand. *Journal of Economic Dynamics and Control*. Volume 34 (4), 598-603.
- Fosgerau, M. and M. Bierlaire (2009) Discrete choice models with multiplicative error terms, *Transportation Research B*, 43 (2009), 494-505.
- Fosgerau, M. and Engelson, L. (2011) The value of travel time variance, *Transportation Research B*, 45(1), p.1-8.
- Fosgerau, M. and Fukuda D. (2010) Valuing travel time variability: characteristics of the travel time distribution on an urban road, working paper, DTU Denmark.
- Fosgerau, M. and Hess, S. (2009) Competing methods for representing random taste variation in discrete choice models. *European Transport*, Issue 42.
- Fosgerau, M. and Hjorth, K. (2008) The value of travel time variability for a scheduled service, presented at ETC 2008.
- Fosgerau, M., Hjorth, K, Brems, C., Fukuda D. (2008) Travel time variability – Definition and valuation. Danish Department of Transport 1:2008.
- Fosgerau, M., Hjorth, K. and Vincent, S. (2010) Between-mode differences in the value of travel time: Self-selection or strategic behaviour? *Transportation Research D*, Vol. 15 (7), pp. 370-381.
- Fosgerau, M. and Karlström, A. (2007) The Value of Reliability and the Distribution of Random Durations. Proceedings of the European Transport Conference, Noordwijk, The Netherlands, October 2007.
- Fosgerau, M. and Karlström, A. (2010) The value of reliability, *Transportation Research B*, 44(1), 38-

49.

Fosgerau, M. and Nielsen, S.F. (2010) Deconvoluting preferences and errors: A model for binomial panel data. *Econometric Theory* Vol. 26, pp. 1846-1854.

Fosgerau, M. and Small, K. (2010) Endogenous Scheduling Preferences and Congestion. Presented at the Kuhmo Nectar Conference and Summer School on Transportation Economics, Valencia, Spain.

Fosgerau, M. and Small, K. (2011) Marginal congestion cost on a dynamic network with queue spillbacks. Forthcoming *Journal of Transport Economics and Policy*.

Fowkes, A.S. and Johnson, I. (1985) Value of Time – Phase II: Small Study on In-Vehicle, Walk, Wait and Interchange Time. Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Fowkes, A.S., Firmin, P.E., Whiteing, A.E. and Tweddle, G. (2001) Freight road user valuations of three different aspects of delay, *Proceedings of the European Transport Conference, 2001*, Cambridge.

Fowkes, A.S., Firmin, P.E., Tweddle, G., Whiteing, A.E. (2004) How Highly Does the Freight Transport Industry Value Journey Time Reliability—and for What Reasons? *International Journal of Logistics*, Volume 7, Number 1, March 2004, pp. 33-43(11)

Fowkes, T. (2007) The design and interpretation of freight stated preference experiments seeking to elicit behavioural valuations of journey attribute pp. *Transportation Research B*, Volume 41, pp. 966-980.

Franklin, J. (2009) Modeling reliability as expected lateness: A schedule-based approach for user benefit analysis. Paper presented at the European Transport Conference, Leeuwenhorst, The Netherlands.

Franklin, J. (2011) *The Reliability Benefits of Congestion Pricing*. Paper presented at the Kuhmo-Nectar Conference 2011

Franklin, J. and Karlstrom, A.(2009) Travel Time Reliability for Stockholm Roadways: Modeling Mean Lateness Factor, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* Issue Nr: 2134.

Friedrich, B, Friedrich, M., A. Bennecke and J. Lohmiller (2011) Zeitabhängige Verbindungsqualität in Straßennetzen. Report for Bundesanstalt für Straßenwesen. Universität Stuttgart and Technische Universität Braunschweig.

Frith, B.A., Fearon, J., Sutch, T.E. and Lunt, G. (2004) Updating and validating parameters for incident appraisal model INCA, TRL Published Report PPR 020.

Friman, M. and T. Gärling (2000) Satisfaction with public transport related to service performance attributes; Karlstad University/Göteborg University.

Frumin, M., Uniman, D., Wilson, N.H.M., Mishalani, R. and Attanucci, J. (2009) Service Quality Measurement in Urban Rail Networks with Data from Automated Fare Collection Systems, *Proceedings of CASPT conference*, Hong Kong.

Fujii, S. and Kitamura, R. (2004) Drivers' mental representation of travel time and departure time choice in uncertain traffic network conditions. *Networks and Spatial Economics*, 4, 243-256.

Furth, P. G. and T.H.J. Muller (2006), Service Reliability and Hidden Waiting Time: Insights from Automated Vehicle Location Data, *Transportation Research Record*, No.1995, pp. 79-87.

- Gao, S., Frejinger, E. and Ben-Akiva, M.E. (2009) Adaptive route choices in risky traffic networks: A prospect theory approach, *Transportation Research Part C*, Article in Press.
- Gaver, D.P., 1968. Headstart strategies for combating congestion. *Transportation Science* 2 3, pp. 172–181.
- Geerts, J-F and Haemers, V. (2004) Service reliability and transfer convenience on the Brussels tramway network, AET European Transport Conference, Strasbourg 2004
- Gershenson, C. and Pineda, L.A. (2009) Why Does Public Transport Not Arrive on Time? The Pervasiveness of Equal Headway Instability. *PLoS ONE* 4(10)
- Gille, J. and S. Rienstra (2002a) Reistijdwinst: wat is snel OV je waard? – Het gebruik van reistijdwaarderingen in Kosten Batenanalyses; ECORYS Transport, Rotterdam.
- Gille, J. and S. Rienstra (2002b) Winst in cijfers – Kortere reistijd voor investeringen; *Verkeerskunde*, nummer 4-2002.
- Gordon, A. Van Vuren, T. Watling, D.P. Polak, J. Noland, R.B. Porter, S. Taylor, N. (2001) Incorporating variable travel time effects into route choice models. In: *Proceedings PTRC European Transport Conference (Methodological Innovations)*. PTRC Education & Research Services Ltd. London.
- Gunn, H. (2001) Spatial and temporal transferability of relationships between travel demand, trip cost and travel time; *Transportation research part E-Logistics and transportation review*, 37-2/3, 163-189.
- Gunn, H.F. and Rohr, C. (1996) The 1985-1996 Dutch Value of Time Studies. Paper presented at PTRC International Conference on the Value of Time.
- Guttman, J. (1979) Uncertainty, the Value of Time and transport Policy, *Journal of Transport Economics and Policy*, May 1979, Vol. 13, No. 2, Page 225.
- Hague Consulting Group (1990) The Netherlands' "Value of time" study: final report; Report for DVK, Rijkswaterstaat, HCG, The Hague.
- Hague Consulting Group (1992a) De reistijdwaardering in het goederenvervoer, Rapport Hoofdonderzoek, Report 142-1 for Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, HCG, The Hague.
- Hague Consulting Group (1992b) Study into the social benefits of goods transport by road; the conjoint analysis, Report HCG 170-2 for the International Road Transport Union (IRU), HCG, The Hague.
- Hague Consulting Group (1997) Economic costs of barriers to road transport, Report for the IRU, HCG-report 7040, The Hague.
- Hague Consulting Group (1998) Value of Dutch travel time savings in 1997 – volume 1; Rapport voor de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, HCG, Den Haag.
- Hague Consulting Group (2000) Re-estimation of the LMS time-of-day module: model structure and data; Rapport voor de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, HCG, Den Haag.
- Hall, R. W. (1983) Travel Outcome and Performance: The Effect of Uncertainty and Accesibility, *Transportation Research B*, Vol. 17, No. 4., pp. 275-290.
- Halse, A., and Killi, M. (2011) The value of reliability in freight transport: evidence from an SP study.

Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC.

Halse, A., and Ramjerdi, F. (2011) Value of reduced time variability in freight transport. Proceedings of the European Transport Conference, 2011, Glasgow.

Halse, A., Samstad, H. Killi, M. Flügel, S. and Ramjerdi, F (2010) Valuation of freight transport time and reliability (in Norwegian), TØI report 1083/2010, Oslo.

Hamer, R., De Jong, G.C. and Kroes, E.P. (2005) The value of reliability in Transport – Provisional values for the Netherlands based on expert opinion. RAND Technical Report Series, TR-240-AVV, Netherlands.

HEATCO (2005) Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 1, Current practice in project appraisal in Europe, January 2005. <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>

HEATCO (2006) Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5, Proposal for harmonized guidelines, February 2006. <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>

Heaver, T. D. (2005) Responding to shippers' supply chain requirements, in Leggate, H., McConville, J., Morvillo, A. (eds) International Maritime Transport Perspectives, Routledge, London and New York, 202-214.

Hellinga, B. (2011) *Defining, Measuring, and Modelling Transportation Network Reliability*. Final report, Delft University of Technology, the Netherlands.

Hendrickson, C. and Plank, E. (1984) The Flexibility of Departure Times for Work Trips, Transportation Research A, Vol. 18, No. 1, pp. 25-36.

Hensher, D.A. (2010) Hypothetical bias, choice experiments and willingness to pay. *Transportation Research B* 44 (6),735-752.

Hensher, D.A. (2007) Valuation of Travel Time Savings, prepared for the Handbook in Transport Economics, edited by André de Palma, Robin Lindsey, Emile Quinet, Roger Vickerman (Edward Elgar Publisher)

Hensher, D.A. and Li, Z. (2012) Valuing travel time variability within a rank-Dependent Utility framework and an investigation of unobserved taste heterogeneity, *Journal of Transport Economics and Policy*, In press.

Hensher, D.A., Green, W.H. and Li, Z. (2011) Embedding risk attitude and decision weights in non-linear logit to accommodate time variability in the value of expected travel time savings, Transportation Research Part B: Methodological, Volume 45, Issue 7, August 2011, Pages 954-972

Hensher, D.A., Li, Z. and Rose, J. M. (2011 Forthcoming) Accommodating Risk in the Valuation of Expected Travel Time Savings, *Journal of Advanced Transportation*, accepted for publication.

Hensher, D.A. Puckett, S.M. and Rose, J.M. (2007) Agency Decision Making in Freight Distribution Chains: Establishing a Parsimonious Empirical Framework from Alternative Behavioural Structures, paper presented at the Oslo workshop on valuation.

Hess, S., Polak, J., Daly, A. and Hyman, G. (2007) Flexible substitution patterns in models of mode and time of day choice: new evidence from the UK and The Netherlands, *Transportation*, Vol. 34, No.

2, pp. 213-238.

Hilbers, H. and Blijie, B. (2003) Accessibility in the Netherlands – the growing importance of reliability; Framing land use dynamics; 17 april 2003, Utrecht.

Hjorth, K. and F. Ramjerdi (2011) A prospect theory approach to travel time reliability, Paper presented at Second International Choice Modelling Conference, Leeds

Hjorth, K. and M. Fosgerau (2011) Using prospect theory to investigate the low value of travel time for small time changes, Working paper, DTU Denmark.

Hjorth, K. and Fosgerau, M. (2011) Loss aversion and individual characteristics. Forthcoming Environmental and Resource Economics.

Hollander, Y. (2005) The attitudes of bus users to travel time variability, paper presented at ETC, Strasbourg.

Hollander, Y. (2006) Direct versus indirect models for the effects of unreliability, Transportation Research Part A, 40(9), 699-711.

Hollander, Y. (2007) The Cost of Bus Travel Time Variability, research report, Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Hollander, Y. (2009) What do we really know about travellers' response to unreliability?, presented at International Choice Modelling Conference in Harrogate UK, 2009.

Hollander, Y. and Buckmaster, M. (2010) The reliability component in project evaluation. Paper presented at the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 2010, Washington D.C.

Hollander, Y. and Liu, R. (2008) Estimation of the Distribution of Travel Times by Repeated Simulation, Transportation Research C, Vol. 16, No. 2, pp. 212-231.

Hollander, Y., Mackie, P. J. and Liu, R. (2007) Estimating Traveller Costs with a Departure Time Choice Loop, Paper presented at the European Transport Conference in Noordwijkerhout, The Netherlands.

Husdal, J. (2004) Reliability and vulnerability versus cost and benefits. In: Nicholson, A., Dantas, A., (Eds.), Proceedings of the Second International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR). Christchurch, New Zealand, pp. 182–188.

Husdal, J. (2005) The vulnerability of road networks in a cost-benefit perspective. Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA 9-13 January 2005.

Hyder Consulting (2007) Forecasting Travel Time Variability in Urban Areas, Department for Transport, United Kingdom.

Ikharta, H. and P. Mitchell (1997) Technical Report of Southern California Association of Governments' Transportation Performance Indicators; Transportation Research Record, 1998, (1606), pp. 103-114.

Illenberger, J., Flotterod, G. and Nagel, K. (2011) A Model of Risk-Sensitive Route-Choice Behavior and the Potential Benefit of Route Guidance, Intelligent Transportation Systems, June 2011, Volume 12, Issue 2, p 384-389.

- Immers, L.H., J.E. Stada, I. Yperman and A. Bleukx (2004) Robustness and resilience of transportation networks. Proceedings of the 9th International Scientific Conference MOBILITA, Bratislava, Slovenia, 2004
- INREGIA (2001) Tidsvärden och transportkvalitet för godstransporter 1999, Underlagsrapport till SAMPLAN 2001:1.
- Ingenieurgruppe IVV GmbH & CO KG Aachen (2003) Verkehrsprognose 2015 für die Bewertung von Straßenprojekten im Rahmen der BVWP 2003 - Bewertungsprognose
- Ingenieurgruppe IVV GmbH & CO KG Aachen (keine Jahresangabe) Das dynamische Routensuch- und Umlegungsverfahren DRUM
- ITP und BVU (2007) Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025
- ISIS et al. (1998) Final report for publication, QUITs Quality Indicators for Transport Systems; Submitted to the European Commission DG VII in April 1998, Rome.
- Jackson, B.W. and Jucker, J.V. (1981) An empirical study of travel time variability and travel choice behaviour. *Transportation Science* 16 4, pp. 460–475.
- Jenelius, E., Mattsson, L.G. and Levinson, D. (2010) The traveler costs of unplanned transport network disruptions: An activity-based modeling approach. Working paper, Department of Transport and Economics, Royal Institute of Technology, Stockholm
- Jiang, L., Mahmassani, H.S., Zhang, K. (2011) Congestion Pricing, Heterogeneous Users, and Travel Time Reliability: Multicriteria Dynamic User Equilibrium Model and Efficient Implementation for Large-Scale Networks. TRB Meeting 2011, Paper Number: 11-3304
- Jochim, H. (1999) Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb, Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen.
- Jones, E.G. (1988) The Variability of Travel Times in a Commuting Corridor During the Evening Peak Period. Master thesis. University of Texas at Austin.
- Jones, C., Sedor, J. (2006) Improving the Reliability of Freight Travel. *Public Roads*, July/August.
- Jong, G.C. de (2008) Value of freight travel-time savings, revised and extended chapter for *Handbooks in Transport*, Volume 1: Handbook of Transport Modelling (Eds: D.A. Hensher and K.J. Button), Elsevier.
- Jong, G.C. de, Bakker, S., Pieters, M. and Wortelboer-van Donselaar, P. (2004) New values of time and reliability in freight transport in The Netherlands; Proceedings of the European Transport Conference – 2004, Strasbourg.
- Jong, G.C. de and Ben-Akiva M.E. (2007) A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice, Special issue on freight transport of *Transportation Research B*, 41, 950-965.
- Jong, G.C. de, Daly, A., Pieters, M., Vellay, C., Bradley, M.A. and Hofman, F.(2003) A model for time of day and mode choice using error components logit, *Transportation Research E (Logistics and Transportation Review)*, 39, 245-268.
- Jong, G.C. de, Kouwenhoven, M.L.A., Kroes, E.P., Rietveld, P. and Warffemius P.(2009) Preliminary monetary values for the reliability of travel times in freight transport, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Issue 9(2), pp. 83-99.

- Jong, G.C. de, Kroes, E.P., Plasmeijer, R., Sanders, P. and Warffemius, P. (2004) The value of reliability, Proceedings of the European Transport Conference 2004, 4-6 October, Strasbourg, France
- Jong, G.C. de, Tseng, Y., Kouwenhoven, M.L.A., Verhoef, E and Bates, J. (2007) The Value of Travel Time and Travel Time Reliability, The Netherlands Ministry of Transport, Public Works and Water Management.
- Jong, G.C. de, C. Vellay and M. Houee (2001) A joint SP/RP model of freight shipments from the region Nord-Pas-de Calais; European Transport Conference - 2001, Cambridge.
- Jonkeren, O. (2009) Adaptation to Climate Change in Inland Waterway Transport. PhD thesis. available at: <http://dare.uvu.vu.nl/bitstream/1871/15358/5/8921.pdf>
- JTRC (2008) Port Competition and Hinterland Connections, Joint Transport Research Centre, Discussion Papers No. 2008-19.
- Kaa, E.J. van de (2008) Extended prospect theory, Findings on choice behaviour from economics and the behavioural sciences and their relevance for travel behaviour, PhD Thesis, Delft University of Technology.
- Kahneman, D. and A. Tversky (1979) Prospect theory: an analysis of decision under risk, *Econometrica*, 47, 263-291.
- Kaparias, I., Bell, M.G.H. and Belzner, H. (2008) A New Measure of Travel Time Reliability for In-Vehicle Navigation Systems, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 2020-211.
- Kazimi, C., Brownstone, D., Ghosh, A., Golob, T.F. and van Amelsfort, D. (2000) Willingness-to-pay to reduce commute time and its variance: evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project; 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Kazuya, K. (1999) Commercial vehicle value of time and perceived benefit of congestion pricing; University of California, Berkeley.
- Keisling, Lynne 2004, "Is network reliability a public good?", International Association for Energy Economics Conference, Washington DC, July, <http://www.iaee.org/documents/washington/Lynne_Kiesling.pdf>
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2010) De betekenis van robuustheid. Robuustheid in kosten-batenanalyses van weginfrastructuur. http://english.verkeerenwaterstaat.nl/Images/De%20betekenis%20van%20robuustheid_tcm195-282288.pdf
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2010) Betrouwbaarheid en robuustheid op het spoor. http://documenten.verkeerenwaterstaat.nl/Images/Betrouwbaarheid%20en%20robuustheid%20op%20het%20spoor_tcm195-305928.pdf
- Knight, T. E. (1974) An Approach to the Evaluation of Changes in Travel Unreliability: A "Safety Margin" Hypothesis, *Transportation*, No. 3, pp. 393-408.
- Knoop, V.L., S.P. Hoogendoorn and H.J. van Zuylen (2007) Quantification of the impact of spillback modeling in assessing network reliability. Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA, Cd-rom version.

- König, A. (2004) Messung und Modellierung der Verlässlichkeit des Verkehrsangebots - Experimente mit Schweizer Befragten, Dissertation, ETH Zürich, Zürich.
- König, A. and Axhausen, K.W. (2002) The reliability of transportation systems and its influence on the choice behaviour, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 113, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- König, A. and Axhausen, K.W. (2003) Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Final report for SVI 44/00, Schriftenreihe, 1039, UVEK, Bern.
- König, A. and Axhausen, K.W. (2005) Bewertung der Verlässlichkeit: Neue Schweizer Ergebnisse. *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung* 229.
- Koopmans, C.C. and Kroes, E.P. (2003) The real cost of congestion in The Netherlands; European Transport Conference – 2003, Strassburg.
- Koster, P. (2009) The costs of uncertain travel times for car travelers, presented at ETC 2009.
- Koster, P.R. (2012) The cost of travel time variability for air and car travellers. *PhD Thesis*, forthcoming.
- Koster, P.R., Kroes, E.P. and Verhoef, E.T. (2011) 'Travel time variability and airport accessibility'. *Transportation Research B*, in press.
- Koster, P.R., Tseng, Y.-Y., (2010) Stated choice experimental designs for scheduling models. *Choice modeling: the state-of-the-art and the state-of-practice*. Eds.: Hess, S. and Daly, A., *Proceedings of the Inaugural Choice Modeling Conference 2010*.
- Koster, P. and Verhoef, E.T. (2012) A rank dependent scheduling model, Fortcoming in *Journal of Transport Economics and Policy*.
- Kouwenhoven, M.L.A., Schoemakers, A., Grol, R. Van, Kroes, E.P. (2005) Development of a tool to assess the reliability of Dutch road networks. *Proceedings of the European Transport Conference – 2005*, Strasbourg.
- Kouwenhoven, M.L.A., de Jong, G.C. and Rietveld, P. (2005) Reliability Ratio's voor het Goederenvervoer, Final report to AVV. RAND Technical Report Series, WR-274-AVV, Netherlands.
- Kouwenhoven, M.L.A., van Grol, H.J.M., Kroes, E.P., A Schoemakers (2006) Development of a tool to assess the reliability of Dutch road Networks, *Proceedings of the European Transport Conference 2006*, October, Strasbourg, France.
- Kristoffersson, I. (2011) Impacts of time-varying cordon pricing: validation and application of mesoscopic model for Stockholm, *Transport Policy*, DOI:10.1016/j.tranpol.2011.06.006.
- Kristoffersson, I. and Engelson, L. (2008) Estimating preferred departure times of road users in a large urban network paper presented at the European Transport Conference, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Kurri, J., Sirkiä, A. and Mikola, J. (2000) Value of Time in Freight Transport in Finland. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Volume 1725 / 2000.
- Lam, T.C. (2000) Route and Scheduling Choice under Travel Time Uncertainty, *Transportation Research Record*, No. 1725, pp. 71-78.
- Lam, T.C. and Small, K.A. (2001) The value of time and reliability: measurement from value pricing

- experiment, *Transportation Research E (Logistics and Transportation Review)*, 37-2/3, 231-251
- Lam, W.H.K. and Xu, G.A. (1999) A traffic flow simulator for network reliability assessment. *Journal of advanced transportation*, 33, 159-182.
- Li, H. (2006) Extensive literature review on travel time reliability. Report, Transportation and Planning Section, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands
- Li, H. (2009) Reliability-based dynamic network design with stochastic networks. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Li, H., Bliemer, M.C.J. and Bovy, P.H.L. (2009) Reliability-based dynamic network design with stochastic networks. In W.H.K. Lam and S.C. Wong (eds) *Transportation and Traffic Flow Theory 2009: Golden Jubilee*, pp. 651-673, Springer, USA.
- Li, H., Bliemer, M.C.J. and Bovy, P. H. L. (2009a) Modeling Departure Time Choice with Stochastic Networks. *12th International Conference on Travel Behaviour Research (IATBR)*. Jaipur, India.
- Li, H., Bliemer, M.C.J. and Bovy, P. H. L. (2009b) Modeling departure time choice with stochastic networks involved in network design. *Transportation Research Record (TRR)*, 2091, 61-69.
- Li, H., Bliemer, M.C.J. and Bovy, P. H. L. (2008a) Network reliability-based optimal toll design. *Journal of Advanced Transportation*, 42, 311-332.
- Li, H., Bovy, P.H.L. and Bliemer, M. C. J. (2008b) Departure time distribution in the stochastic bottleneck model. *International Journal of ITS Research*, 6, 79-86.
- Li, Z. and Hensher, D.A. (2011) Prospect Theoretic Contributions in Understanding Traveller Behaviour: a Review and Some Comments, *Transport Reviews*, 31 (1), January, 97-117.
- Li, Z., Hensher, D.A. and Rose, J.M. (2010) Willingness to Pay for Travel Time Reliability for Passenger Transport: A Review and some New Empirical Evidence *Transportation Research Part E*, 46 (3), 384-403.
- Li, Z., Hensher, D.A. and Rose, J.M. (2011) Embedding Risk Attitudes in a Scheduling Model: Application to the Study of Commuting Departure Time, accepted for *Transportation Science*, August 2011.
- Li, Z., Tirachini, A. and Hensher, D.A. (Forthcoming) Embedding risk attitudes in a scheduling model: Application to the study of commuting departure time, *Transportation Science*, In press.
- Li, M. (2008) Robustness analysis for road networks: a framework with combined DTA models. PhD thesis, Delft University of Technology
- Lint, J.W.C. van and van Zuylen, H.J. (2005) Monitoring and predicting freeway travel time reliability, *Transportation Research Record 1917(Data initiatives)*: 54-62.
- Lint, J.W.C. van, van Zuylen, H.J. and Tu, H. (2007) Travel Time Reliability on Freeways: Why Measures based on Variance tell only Half the Story, *Transportation Research A*, 42 (1) 258-277.
- Lint, J.W.C. van (2004) Freeway Travel Time Reliability Maps; Using the shape of the day-to-day travel time distribution, Paper presented at the 8th TRAIL congress, 2004 November 23, Rotterdam, The Netherlands.
- Liu, X. and Polak, J.W. (2007) Nonlinearity and Specification of Attitudes Toward Risk in Discrete

Choice Models, *Transportation Research Record* 2014, 27-31.

Liu, H. X., Recker, W. and Chen, A. (2004) Uncovering the Contribution of Travel Time Reliability to Dynamic Route Choice using Real-Time Loop Data, Proceedings of the 83rd TRB annual meeting, Washington, D.C.

Liu, R. and Sinha, S. (2007) Modelling Urban Bus Service and Passenger Reliability. In: The Third International Symposium on Transportation Network Reliability, 19-20 July 2007, The Hague, Netherlands.

Lo, H.K. (2002) Trip travel time reliability in degradable transport networks. Proceedings of the 15th International Symposium On Transportation And Traffic Theory (ISTTT). Adelaide, South Australia.

Lo, H.K., Luo, X.W. and Siu, B.W.Y. (2006) Degradable transport network: travel time budget of travelers with heterogeneous risk aversion. *Transportation Research Part B*, 40, 762-806.

Loon, R. van, Rietveld, P. and Brons, M. (2011) Travel time reliability impacts on railway passenger demand. *Journal of Transport Geography* 19 (4),917-925.

Lomax, T., Schrank, D., Turner, S., Margiotta, R., (2003) Selecting travel reliability measures, Texas transportation institute Cambridge systematics, Inc.

Lomax, T., Turner, S. and Margiotta, R. (2001) Monitoring Urban Roadways in 2000: Using achieved operations data for reliability and mobility measurement; Federal Highway Administration, Operations Core Business Unit, Washington D.C., USA.

Lyman, K, and Bertini, R.L. (2008) Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation Planning and Operations, *Transportation Research Record* 2046, 1-10.

Mabit, S., Fosgerau, M. (2007) Controlling for sample selection in the estimation of the value of travel time. Forthcoming in the Proceedings of the 2006 IATBR Conference in Kyoto, Japan.

Mabit, S. and Fosgerau, M. (2010) Mode choice endogeneity in value of travel time estimation. In Stephane Hess and Andrew Daly (eds), *Choice Modelling: the state-of-the-art and the state-of-practice - Proceedings from the inaugural international choice modelling conference*, Emerald.

McFadden, D. (1978) Modelling the choice of residential location. In Karlqvist, A., Lundqvist, L., Snickars, F. and Weibull, J. (eds) *Spatial Interaction Theory and Residential Location*. North-Holland, Amsterdam.

Mott MacDonald (2009) Development of INCA to incorporate single carriageways and managed motorways – PPRO 04/03/17, Summary report. Department for Transport, London.

Mott Macdonald (2008) Estimation of variability functions for additional inter-urban road types, Report for UK Department for Transport, November 2008

Mott Macdonald (2000) Travel Time Variability Follow - On Research 1.1, Report for UK Department for Transport, July 2000.

Mott Macdonald (2000) Travel Time Variability Follow - On Research 1.2, Report for UK Department for Transport, July 2000.

Mott Macdonald (2000) Travel Time Variability Follow - On Research 1.3, Report for UK Department for Transport, November 2003.

- Mott Macdonald (2000) Travel Time Variability Follow - On Research: Conceptual and Methodological Issues, Report for UK Department for Transport, September 2000.
- Mackie, P.J., Nelthorpe, J., Laird, J.J. and Ahmed, F. (2003): Toolkit for the Evaluation of World Bank Transport Projects. The World Bank, Washington DC.
- Mahmassani, H.S. (2011) Advanced in dynamic modelling of transport networks for large-scale applications – reliability, pricing, weather, and traveler heterogeneity. *Masterclass Advanced Modeling of Transport*, Delft, the Netherlands.
- Mahmassani, H.S. (2011) Incorporating reliability performance measures in planning and operations modelling tools, SHRP2 L04 report, Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC.
- Mahmassani, H. S. and Stephan, D. G. (1988) Experimental Investigation of Route and Departure Time Choice Dynamics of Urban Commuters, Transportation Research Record, No. 1203, pp. 69-84.
- Margiotta, R., Taylor, R. (2006) Traffic Congestion and Reliability: Making the Connection with Operations, Part 1: Measuring and Tracking Reliability. ITE Journal, February 2006.
- Massiani, J. (2005) La valeur du temps en transport de marchandises; PhD thesis, Universite Paris XII.
- Mattsson, L.G. (2004) Train service reliability. A survey of methods for deriving relationships for train delays, <<http://users.du.se/~jen/Seminarieuppsatser/Forsening-tag-Mattsson.pdf>>
- Mede, H.J. van der, Palm, H. and Flikkema, H. (1996) Travel time variability as a new quality indicator; European Transport Conference – 1996, London.
- Meeuwissen, A.M.H., Snelder, M. and Schrijver, J.M. (2004) Statistische analyse variabiliteit reistijden voor SMARA. *TNO Inro report V&V/2004-31*, 04-7N-112-73401.
- MergeGlobal (2006) Coping with uncertainty, How might market forces create new ocean transport products for service-sensitive container shipments?
- Michea, A. and Polak, J.W. (2006) Modelling Risky Choice Behaviour: Evaluating Alternatives to Expected Utility Theory, paper presented at the 11th International Conference on Travel Behaviour Research, Kyoto, Japan.
- Ministry of Transport and Communications (2006) Measures for improving the smoothness of heavy goods traffic flows at the Finnish–Russian border. Publications of the Ministry of Transport and Communications 55/2006.
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Nota Mobiliteit, (2004) The Netherlands, <http://www.notamobiliteit.nl>
- Minken, H. and H. Samstad (2006) Appraising policies to reduce freight transport value of time, and its variability – a new method (in Norwegian), TØI report 825/2006, Oslo.
- Mirchandani, P. and Soroush, H. (1987) Generalized traffic equilibrium with probabilistic travel times and perceptions. *Transportation Science* 21, 133-152.
- Morface Int. and Cambridge Systematics (1999) A handbook for measuring customer satisfaction and service quality; Transportation Research Board, Washington D.C.
- MVA (1996) Benefits of reduced travel time variability; report to DfT; MVA.

- MVA (2000) Etude de l'impact des phénomènes d'irregularité des autobus – Analyse des résultats, MVA, Paris.
- NCHRP (2001) Economic implications of congestion; NCHRP report 643, TRB/NRC, Washington D.C., USA.
- Nagel, K., Winter, M., Beckers, T., Röhling, W., Liedtke, G., Scholz, A. (2010) Analyse der verkehrsprognostischen Instrumente der Bundesverkehrswegeplanung. Projektbearbeitung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
- NEI and HCG (1998a) Werknottitie 2 inzake MIT instrumentarium OV projecten; Rapport voor AVV; NEI, Rotterdam.
- NEI and HCG (1998b) THOM/PIOV – gebruikershandleiding; Rapport voor AVV; HCG, Den Haag
- Nes, R., Marchau, V., van Wee, G.P., Hansem, I.A. (2007) Reliability and robustness of multimodal transport network analysis and planning: towards a new research agenda. Paper presented at the 3rd INSTR conference, Rotterdam.
- Neumann, J. von and Morgenstern, O. (1947) Theory of Games and Economic Behavior (Second Edition). Princeton University Press, Princeton.
- Nicholson, A.J. and Z.P. Du (1997) Degradable transportation systems: an integrated equilibrium model; Transportation Research B 31 (3) 209-223.
- Nicholson, A.J. (2007) Road network unreliability: impact assessment and mitigation. International Journal of Critical Infrastructures, Vol 3, Nos 3-4.
- Nicholson, A.J., Dalziel, E.P (200X) Assessing and Mitigating the Impacts of Road Network Unreliability. Paper presented at the first INSTR Symposium.
- Nicholson, A. & Munakata, K. (2009) Estimating the benefits of trip time reliability. 32nd Australasian Transport Research Forum 2009. Auckland, New Zealand.
- Noland, R.B. and Polak, J. (2002) Travel time variability: a review of theoretical and empirical issues, Transport Reviews, Vol. 22, pp. 39-54.
- Noland, R.B. and Small, K.A. (1995) Travel time uncertainty, departure time and the cost of the morning commute, Proceedings of 74th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.
- Noland, R.B. Small, K.A., Koskenoja, P.M. and Chu, X. (1998) Simulating travel reliability. Regional Science & Urban Economics 28, 535–564.
- OECD (2010) *Improving reliability on surface transport networks*, OECD, Paris
- Oetting, A. (2005) Physikalische Maßstäbe zur Beurteilung des Leistungsverhaltens von Eisenbahnstrecken, ETR Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen.
- Olsson, N. and H. Haugland (2004) Influencing factors on train punctuality - results from some Norwegian studies. Transport Policy 11 (2004) 387–397.
- Oort, N. van (2011) Service Reliability and Urban Public Transport Design, T2011/2, TRAIL Thesis

Series, the Netherlands

- Oort, N. van and van Nes, R. (2004) Service regularity analysis for urban transit network design, Proceedings of 83rd Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.
- Palma, A. de and Picard, N. (2005) Route choice decision under travel time uncertainty. *Transportation Research Part A: Policy and Practise*, 39(4) 295-324
- Palma, A., de Ben-Akiva, M.E., Brownstone, D., Holt, C. Magnac, C., McFadden, D., Moffatt, D., Picard, N., Train, K., Wakker, P. and Walker, J. (2008) Risk, uncertainty and discrete choice models, *Market Letter*, 19(3), 269-285.
- Palsdottir, K.E. (2011) Ex-post analysis on effects of policy measures on travel time reliability, Master thesis, Delft University of Technology.
- Peer, S., Koopmans, C. and Verhoef, E.T. (2012) Prediction of travel time variability for cost-benefit analysis, *Transportation Research Part A* pp. 79-90.
- Peeters, P., Bruinsma, F. and Rietveld, P. (1998) Betrouwbaarheid van openbaar vervoer ketens: het effect van maatregelen; *Verkeerskunde*, november 1998.
- Peeters, P., Rietveld, P., Bruinsma, F., van Vuuren, D. and Rooijers, A.J. (1998) Hoe laat denk je thuis te zijn? Een onderzoek naar de betrouwbaarheid van vervoersystemen en de invloed daarvan op het verplaatsingsgedrag; *PbIVVS*, Den Haag.
- Peeters, P., van Asseldonk, Y., van Binsbergen, A.J., Schoemaker, T.J.H., van Goeverden, C.D., Vermijs, R.G.M.M., Rietveld, P. and Rienstra, S.A. (1996) Mag het ietsje minder snel? Een onderzoek naar de maatschappelijke economische kosten en baten van verlaging van snelheden van personenauto's; *PbIVVS*, Den Haag.
- Pells, S. (1987a) The Evaluation of Reductions in the Variability of Travel Times on the Journey to Work, *Transportation Planning Methods*, Proceedings of Seminar C held at the PTRC Summer Annual Meeting, University of Bath, Vol. P290, pp. 313-325.
- Pells, S. (1987b) The Evaluation of Reductions in Travel Time Variability, Ph.D. thesis in Economics, University of Leeds, Great Britain.
- Pickrell, S, Cambridge Systematics, Inc (2007) Cost-Effective Measures and Planning Procedures for Travel Time, Delay, and Reliability, NCHRP Project 7-15, TRB, Washington, D.C
- Planco (2002) Gesamtwirtschaftliche Bewertung erwogener Wasserstraßenprojekte Teilbericht Mosel. Projekt im Auftrag des BMVBS
- Polak (1995) An overview of the recent literature on modelling the effects of travel time variability. Unpublished mimeo.
- Polak, J. (1987b) A More General Model of Individual Departure Time Choice, *Transportation Planning Methods*, Proceedings of seminar C held at the PTRC Summer Annual Meeting, University of Bath, Vol. P290, pp. 247-258.
- Polak, J.W. (1987) Travel time variability and departure time choice: a utility theoretic approach. Discussion Paper 15, Transport Studies Group, University of Westminster (previously Polytechnic of Central London).

- Polak, J.W., Hess, S. and Liu, X. (2008) Characterising heterogeneity in attitudes to risk in expected utility models of mode and departure time choice, paper presented at the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., January 2008.
- Pommer, J. and Schunselaar, J. (1998) De paradox van de dienstregeling; PbIVVS, Den Haag.
- Prashker, J. N. (1979) Direct Analysis of the Perceived Importance of Attributes of Reliability of Travel Modes in Urban Travel, *Transportation*, Vol. 8, pp. 329-346.
- Preston, J., Wall, G. Batley, R., Ibáñez, J.N. and Shires, J. (2009) Impact of Delays on Passenger Train Services. Evidence from Great Britain. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No. 2117
- Probert, A. (2001) Quality – It is not what you think; European Transport Conference – 2001, Cambridge.
- Providing a Highway System with Reliable Times. F-SHRP Web Document, http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/f-shrp/f-shrp_webdoc_3.pdf.
- Puckett, S. and J. Rose (2009) Observed efficiency of a D-optimal design in an interactive agency choice experiment, paper presented at the ICMC, Harrogate.
- Rakha, H. and Wang, Z. (2005) Estimating Traffic Stream Space Mean Speed and Reliability from Dual- and Single-Loop Detectors, *Transportation Research Record* 1925, 28-47.
- Rakha, H., El-Shawarby, E., Arafeh, M. and Dion, F. (2006) Estimating Path Travel Time Reliability. ITSC 2006 – 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Toronto, ON, Canada, 236-241
- Ramjerdi, F., Flügel, S., Samstad, H. and Killi, M. (2010) *Value of time, safety and environment in passenger transport – Time*. TØI report 1053B/2010. Institute of Transport Economics, Oslo
- Ramjerdi, F., Rand, L., Sætermo, I.-A.F. and Sælensminde, K. (1997) *The Norwegian Value of Time Study – Part I*. TØI report 379/1997. Institute of Transport Economics, Oslo
- RAND Europe (2001) Re-estimation of the LMS time-of-day module: estimation results; Rapport voor de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, RAND Europe, Leiden.
- RAND Europe (2003) Hoofdonderzoek naar de reistijdwaardering in het vervoer van goederen over de weg; Rapport voor de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, RAND Europe, Leiden.
- RAND Europe (2004) De Waardering van kwaliteit en betrouwbaarheid in personen- en goederen vervoer (The valuation of quality and reliability in passenger and freight transport). AVV/RAND Europe, Rotterdam.
- RAND Europe and AVV (2005) The value of reliability in transport. The Netherlands.
- RAND Europe, SEO and Veldkamp/NIPO (2004) Hoofdonderzoek naar de reistijdwaardering in het goederenvervoer, Report for the Adviesdienst Verkeer en Vervoer, RAND Europe, Leiden.
- Recker, W, Chung, Y.S. Park, J.Y. Wang, L. Chen, A. Ji, Z. Liu, H. Horrocks, M. and Oh, J.S. (2005) Considering Risk-Taking Behaviour in Travel Time Reliability. California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH) Research Report. Institute of Transportation Studies. University of California, Berkeley.

- Richardson, T. (2003) The temporal variability of public transport usage, presented at ETC 2003.
- Rietveld, P. (2003) Valuation of travel time and traveller information in multimodal personal travel under certainty; Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Rietveld, P. Bruinsma, F.R. and van Vuuren, D.J. (2001) Coping with unreliability in public transport chains: A case study for the Netherlands, *Transportation Research A*, 35, 539-559.
- Ritsema van Eck, J., Snellen, D. and Hilbers, H. (2004) Travel time reliability: methodology and some results for the Netherlands, Paper presented at WCTR 2004, Istanbul
- Robinson, S. and Polak, J. W. (2007) Characterizing Components of Urban Travel Time Variability Using k-Nearest-Neighbor Method, Proceedings of the 86th TRB annual meeting, Washington, D.C.
- Rooijers, T. and W. Oosterwijk (1998) Subjectieve betrouwbaarheid van vervoersystemen; PbIVVS, Den Haag.
- Rooijers, T., P. Peeters and W. Oosterwijk (1997) Betrouwbaarheid and verplaatsingsgedrag; een theoretisch kader; PbIVVS, Den Haag.
- SACTRA (1994) Trunk roads and the generation of traffic; The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment Department for Transport, London.
- SACTRA (1999) Transport and the economy: full report, The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Department for Transport, London.
- Santos, B., A. Antunes and E. Miller (2007) Interurban road network planning model with accessibility and robustness. Proceedings of the Third international Symposium on Transportation Network Reliability, 19-20 July, 2007, The Netherlands
- Scannella, G. and M. Beuthe (2003) Valuation of road projects with uncertain outcomes; *Transport Reviews*, Vol. 23, No. 1, pp. 35-50, 2003.
- Schreuder, M.A., L. Molenkamp, G.F. Tamminga and M.E. Kraan (2007) Vulnerability of a national road network, Policy, research Quick Scan & Model, Proceedings of the Third international Symposium on Transportation Network Reliability, 19-20 July, 2007, The Netherlands
- Schrijver J., H. Meeuwissen, H. Hilbers (2003) Het voorspellen van betrouwbaarheid van reistijden met een vervoerprognosemodel: SMARA, In Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2003, CVS, Rotterdam
- SDG [Steer Davies Gleave] (1993) Highway Reliability Supply Effects, Final Report prepared for London Assessment Division, UK Department of Transport
- Senna, L.A.D.S. (1991) Risk of delays, uncertainty, and travellers' valuation of travel time variability, 19th PTRC Summer Annual Meeting, Brighton.
- Senna, L.A.D.S. (1994a) User Response to Travel Time Variability, Ph.D. thesis in Civil Engineering, University of Leeds, Great Britain.
- Senna, L.A.D.S. (1994b) The Influence of Travel Time Variability on the Value of Time, *Transportation*, No. 21, pp. 203-228.
- Shao, H., Lam, W. H. K., Meng, Q. and Tam, M. L. (2006) Demand-driven traffic assignment problem based on travel time reliability. *Transportation Research Record*, 1985, 220-230.

- Shaw, T. (2003) Performance Measures of Operational Effectiveness for Highway Segments and Systems. NCHRP Synthesis 311, Transportation Research Board.
- Significance, VU University Amsterdam and John Bates (2007) The value of travel time and travel time reliability, Survey design, Final Report prepared for the Netherlands Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Significance. Leiden.
- SIKA (2000) En hög transportkvalitet för näringslivet – Underlag om mål mätt och metoder.
- SIKA (2002) Review of cost benefit calculation, Methods and valuations in the transport sector (Summary in English) SIKA report 2002:4, Stockholm.
- Sirivadidurage, s., Gordon, A., White, C., Mott MacDonald Limited, UK, Watling, D. (2009) Forecasting day to day variability on the UK motorway network, presented at ETC 2009.
- Small, K.A. (1982) The Scheduling of Consumer Activities: Work Trips, American Economic Review, 72, June 1982, 467-479.
- Small, K.A., Noland, R.B., Chu, X. and Lewis, D. (1999) Valuation of travel-time savings and predictability in congested conditions for highway user-cost estimation. NCHRP Report 431, Transportation Research Board, National Research Council, United States.
- Small, K.A., Noland, R. B. and Koskenoja, P. M. (1995) Socio-economic attributes and impacts of travel reliability: a stated preference approach. California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH).
- Small, K.A., Winston, C. and Yan, J. (2005) Uncovering the distribution of motorists' preferences for travel time and reliability: implications for road pricing; Department of Economics, University of California, Irvine.
- Small, K.A., Winston, C. and Yan, J. (2006) Differentiated road pricing, express lanes, and carpools: exploiting heterogenous preferences in policy design. Forthcoming Brookings-Wharton Papers on urban Affairs.
- Snelder, M. (2010) Designing robust road networks, PhD dissertation, TU Delft.
- Sommer, H., Lieb, C., Marti, P., Waldvogel, S. and Helg, R. (2005) Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Forschungsauftrag VSS 2000/342 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Bern. G6.
- Spiess H. and Florian M. (1989) Optimal strategies: A new assignment model for transit networks. Transportation Research B 23, 83-102.
- Srinivasan, K. K. and Guo, Z. (2003) Day-to-Day Evolution of Network Flows under Departure Time Dynamics in Commuter Decisions, Transportation Research Record, No. 1831, pp. 47-56.
- Strategic Rail Authority (SRA) (2003) Appraisal Criteria: A guide to the appraisal of support for passenger and freight rail services. London: SRA.
- Sumalee, A. and Watling, D.P. (2007) Partition-based Algorithm for Estimating Transportation Network Reliability with Dependent Link Failures. Submitted to Journal of Advanced Transportation.
- Sumalee, A. and Watling, D.P. (2003) Travel time reliability in a network with dependent link modes and partial driver response, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, p 1687-1701.

- Supernak, J. (1992) Temporal Utility Profiles of Activities and Travel: Uncertainty and Decision Making, *Transportation Research B*, 26(B), 549-574.
- Swahn, H. and Bates, J. (2010) Time and quality in freight transport, A pre-study for VTI, VTI, Stockholm.
- Schwanhäußer, W. (2009) Wirtschaftlich und betrieblich optimale Zugzahlen auf Eisenbahnstrecken, *ETR* 9/2009
- Sommer, H., Lieb, C., Marti, P., Waldvogel, S. and Helg, R. (2005) Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Forschungsauftrag VSS 2000/342 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Bern.
- Swenseth, S.R. and Buffa, F.P. (1990) Just-in-Time: Some Effects on the Logistics Function., *International Journal of Logistics Management*, vol. 1, no. 2, pp. 25-34.
- Tavasszy, L.A. (2008) Measuring value of time in freight transport: a systems perspective. in *Recent developments in transport modelling: lessons for the freight sector* (Eds: M.E. Ben-Akiva, H. Meersman and E. van de Voorde), Emerald, 2008.
- Tavasszy, L.A. and Combes, F. (2010) Endogenous value of time in freight transport models, in *Applied Transport Economics* (Eds: E. van de Voorde and T. Vanelander), De Boeck, Antwerpen.
- Taylor, M.A.P. (2007) Using accessibility metrics for road transport vulnerability analysis and the identification of critical infrastructure locations. *Proceedings of the Third international Symposium on Transportation Network Reliability*, 19-20 July, 2007, The Netherlands.
- Teekamp, R., Bezembinder, E., van Amelsfort D. and van Berkum, E. (2002) Estimation of preferred departure times and changes in departure time patterns, Paper presented at TRB 81th Annual Meeting, Washington DC, January 2002.
- Tilahun, N. Y. and Levinson, D. M. (2008) A Moment of Time: Reliability in Route Choice Using Stated Preference, *Proceedings of the 87th TRB annual meeting*, Washington, D.C.
- Transek (1990) Godskunders transportmedelsval, VV 1992:25, Transek, Solna.
- Transek (1990) Godskunders värderingar, Banverket Rapport 9 1990:2, Transek, Solna.
- Transek (2001) Stockholm public transport study; Transek AB, Stockholm
- Transek (2002) Evidence on subjective factor values; EXPEDITE project, Transek, Solna.
- Transek (2006) *Sambällsekonomiska kalkyler för Nord-sydlika förbindelser i Stockholm*.
- Transportation Research Board (1997) Highway Capacity Manual. TRB, Washington D.C. USA.
- Tseng, Y.Y. (2008) Valuation of Travel Time Reliability in Passenger Transport, PhD thesis, VU University Amsterdam.
- Tseng, Y.Y., Knockaert, J. and Verhoef E.T (2010) Stick to the Plan? A Revealed-Preference Study of Behavioural Impacts of Traffic Information. Tinbergen Institute Discussion Paper
- Tseng, Y.Y., Ubbels, B. and Verhoef, E. (2005). Value of Time, Schedule Delay, and Reliability. Estimation Results of a Stated Choice Experiment among Dutch Commuters Facing Congestion, ERSA Conference.

- Tseng, Y.Y. and Verhoef, E.T. (2008) Value of time by time of day: A stated-preference study, *Transportation Research B*, 42(7-8), 607-618.
- Tseng, Y.Y., Verhoef, E.T., de Jong, G.C., Kouwenhoven, M.L.A., and van der Hoorn, A.I.J.M. (2009) A pilot study into the perception of unreliability of travel times using in-depth interviews, *Journal of Choice Modelling*, 2(1), 8-28.
- Tu, H. (2009) Monitoring travel time reliability on freeways, PhD thesis, Delft University of Technology.
- Tu, H., van Lint, J. W. C. and van Zuylen, H. J. (2005) Real-Time Modeling Travel Time Reliability on Freeway, 10th Euro Working Group Transportation Meeting & 16-Mini-Euro Conference, Poznan, Poland.
- Tu, H., van Lint, J. W. C. and van Zuylen, H. J. (2007) The Impact of Traffic Flow on Travel Time Variability of Freeway Corridors. *Transportation Research Record*, 1993, 59-66.
- Tu, H., van Lint, J. W. C. and van Zuylen, H. J. (2008) Travel time reliability modelling on freeways. *87th Transportation Research Board*. Washington, D.C. USA.
- Turnbull, K.F. and R.H. Pratt (2003) Transit Information and Promotion: Traveler Response to Transport System Changes, Chapter 11, TCRP 95; TRB (www.trb.org) available at http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_95c11.pdf.
- Uchida, T., and Iida, Y. (1993) Risk Assignment: a new Traffic Assignment Model Considering Risk of Travel Time Variation. Proceedings of the 12th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. Elsevier, Amsterdam, 89-105.
- UK Department for Transport, WebTAG Guidance, www.dft.gov.uk/webtag/
- Vickrey, W.S. (1969) Congestion theory and transport investment, *American Economic Review (Papers and Proceedings)* 59, 251-261.
- Vickrey, W.S. (1973) Pricing, metering, and efficiently using urban transport facilities, *Highway Research Record* 476, 36-48.
- Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org) available at www.vtpi.org/tca/tca0502.pdf.
- Vieira, L. (1992) The value of service in freight transportation, PhD Dissertation, MIT.
- Vincent, M. (2008) *Measurement valuation of public transport reliability*. Land Transport New Zealand Research Report 339.
- Vrtic, M. Schuessler, N. Erath, A. Axhausen, K.W. Frejinger, E. Stojanovic, J. Bierlaire, M. Rudel, R. Scagnolari, S. and Maggi, R. (2006) Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten, Final report for SVI 2005/004.
- Vuren, T. van (2010) Measuring and valuing travel time reliability – an example for hard shoulder operation, 5th International Scientific Conference "Theoretical and Practical Issues in Transport (11-12 February 2010, Pardubice, Czech Republic)
- Vuren, T. van, Daly, A., Carmichael S. and Ben-Akiva, M.E. (2002) Modelling peak-spreading and trip-re-timing, report for the UK Department for Transport, Hague Consulting Group, The Hague.
- Waard, J. van der (1989) Onderzoek weging van tijdelementen, deel 3; TU Delft.

- Wakabayashi, H. and Y. Iida (1992) Upper and lower bounds of terminal reliability of road networks: an efficient method with boolean algebra. *Journal of Natural Disaster Science* (vol. 14) pp. 29-44.
- Wardman, M. (2001) A review of British evidence on time and service quality valuations, in: *Transportation Research Part E* 37, p. 107-128.
- Wardman, M. (2004) Public transport values of time, in: *Transport Policy* 11, p.363-377.
- Warffemius P (2005) Using the standard deviation of the travel time distribution as an indicator for valuing the reliability of travel time. Paper presented at the European Conference of Transport Research Institutes, 11-13 May 2005, The Hague.
- Washington State Department of Transport (2010) The 2010 congestion report, special edition of the Gray Notebook, Washington State DOT.
- Watling, D. (2008) Modelling and evaluation of reliability impacts in road networks: concepts and methods for traffic assignment models, presented at ETC 2008.
- Watling, D. (2006) User equilibrium traffic assignment with stochastic travel times and late arrival penalty. *European Journal of Operational Research* 175, 1539-1556.
- Watling, D., Sumalee, A., Connors, R. and Balijepalli, C. (2004) Advancing Methods for Evaluating Network Reliability. Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds.
- Widlert, S., Uhlin, S. and Gärling, T. (1989) Värdering av kollektivtrafikens standard. Swedish Transport Research Board. TFB-rapport 1989:2.
- Willeke, R. and Paulußen, U. (1991) Berücksichtigung projektbedingter Ersparnisse an Reisezeit im nicht-gewerblichen Personenverkehr bei der Planung von Verkehrswegen des Bundes. FE-Vorhaben Nr. 90227/90 des Bundesministers für Verkehr, Köln 1991.
- Winston C. (1981) A Disaggregate Model of the Demand for Intercity Freight Transportation. *Econometrica*, Vol. 49, No. 4 (Jul., 1981), pp. 981-1006
- Wiss. Beirat beim BMVBS (2008) Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme. Gutachten Feb. 2008
- Wunderlich, K., Hardy, M., Larkin, J. and Shah, V. (2001) On-time reliability impacts of advanced traveler information services (ATIS): Washington D.C., Case study Federal Highway Administration, Washing D.C., USA.
- Yang, H., Bell, M.G.H. and Meng, Q. (2000) Modeling the Capacity and Level of Service of Urban Transportation Networks. *Transportation Research Part B*, 34, p.255-275.
- Yin, Y. and Ieda, H. (2001) Assessing performance reliability of road networks under nonrecurrent congestion. *Transportation Research Record*, 1771, 148-155.
- Yuen-wah Li (2003) "Evaluating the Urban Commute Experience: A Time Perception Approach," *Journal of Public Transportation*, Vol. 6, No. 4, pp. 41-67; available at www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT%206-4%20Li.pdf.
- Zamparini, L. and A. Reggiani (Freight transport and the value of travel time savings: A meta-analysis of empirical studies, *Transport Reviews*, 5, 621-635.
- Zeithaml, V. et al. (1990) Delivering quality service; balancing customer perceptions and expectations. Free Press. New York.

Zhang, N, and Lam, W.H.K. (2001) An Alternative to the Road Network Reliability by Travel Demand Satisfaction Ratio. Proceedings of the 4th International Conference on Management, Xian Jiaotong University, China, May 5-7, 47-53.

Ziha, K (2000) Event oriented system analysis. Probabilistic engineering mechanics, vol. 15, No. 3, Elsevier, p. 261-75.

Ziha, K. (2000) Redundancy and robustness of systems of events. Probabilistic Engineering Mechanics, 4 (vol. 15) pp. 347-357. Bates, J., J. Polak, P. Jones and A. Cook (2001), The valuation of reliability for personal travel, In: Transportation Research Part E (Logistics and Transportation Review), 37-2/3, 191-229.

Zuylen, H.J. van, van Rheenen, P.J. and Minderhoud, M.M. (2003) Het belang van een betrouwbare, stabiele weginfrastructuur; TUD, Delft / EVO, Zoetermeer.

Annex 1. Teilnehmerliste Interviews Straße/Schiene

Hauptverkehrsträger			Interviewart	Verkehrsträger			Interview	
Straße		Firma		Straße	Schiene	Binnenschifffahrt	Geschäftsverkehr	
1	Verlader	BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH	Telefonisch	1	1	1		
2	Verlader	EDEKA	E-Mail	1			1	
3	Verlader	Siemens	Telefonisch	1	1	1	1	
4	Verlader	Notter Holztransporte GmbH	Telefonisch	1	1			
5	Verlader	Wincor Nixdorf Logistics GmbH	Telefonisch	1				
6	Verlader	Polzug	Telefonisch	1	1			
7	Verlader	Beiersdorf AG	E-Mail	1				
8	Verlader	Volkswagen Logistics	E-Mail	1	1	1	1	
9	Spedition	Konrad Zippel Spediteure	Telefonisch	1	1	1	1	
10	Spedition	Kemming Wilhelm GmbH	Telefonisch	1				
11	Spedition	Pohl & Co GmbH Spedition	Telefonisch	1	1	1		
12	Spedition	Gustav Mäuler Spedition	Telefonisch	1				
13	Transportunternehmen	BLG Logistics	Telefonisch	1	1	1		
14	Transportunternehmen	Binnenhafen Anklam GmbH	Telefonisch			1		
15	Transportunternehmen	Unilogistik Umschlag & Transport GmbH	Telefonisch	1				
16	Transportunternehmen	Neuss Trimodal GmbH	Telefonisch	1	1			
17	Transportunternehmen	HSF Logistics	Telefonisch	1				
18	Transportunternehmen	LC Schwertransport & Kontraktlogistik GmbH	Telefonisch	1		1		
19	Transportunternehmen	Panalpina Welttransport GmbH	Telefonisch	1	1	1		
20	Transportunternehmen	KaaTee transport	Telefonisch	1				
21	Fachverband	BGL Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung	Telefonisch					
22	Fachverband	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)	E-Mail					
23	Fachverband	Deutscher Industrie und Handelskammertag	Telefonisch					
24	Fachverband	VVL Verband Verkehr und Logistik Berlin und Brandenburg	Telefonisch					
25	Fachverband	ADAC	Telefonisch				1	
26	Vermittler	Timocom	Telefonisch	1				
27	Hafen	Rheinhafen Breisach GmbH	Telefonisch	1				
28	Hafen	Wolgaster Hafengesellschaft mbH	Telefonisch	1	1			
Eisenbahn								
1	Verlader	Railportfeeder	Telefonisch		1	1		
2	Verlader	SKL Umschlagsservice	Telefonisch		1			
3	Verlader	BEHALA	Telefonisch	1	1	1	1	
4	Verlader	Häfen und Güterverkehr Köln AG	Telefonisch		1	1		
5	Verlader	METRANS	E-Mail		1			
6	Verlader	Railservice Alexander Neubauer	Telefonisch		1			
7	Transportunternehmen	Augsburger Localbahn	Telefonisch		1			
8	Transportunternehmen	Transpetrol	Telefonisch		1			
9	Transportunternehmen	Bayerische Cargo Bahn (Captrain)	Post		1			
10	Transportunternehmen	DB Schenker Rail Deutschland AG	Telefonisch		1			

Annex 2. Teilnehmerliste Interviews Binnenschifffahrt

Interviewpartner zur „Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs in der Binnenschifffahrt“

Insgesamt wurden 12 Interviews zum Thema Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs in der Binnenschifffahrt durchgeführt, wobei sich 5 Reedereien (bzw. Speditionen, die auch den wasserseitigen Transport bedienen), 3 verladende Unternehmen, 1 Binnenhafen sowie 3 Fachverbände an der Studie beteiligten. Bis auf eine Ausnahme (Email) wurden alle Befragungen telefonisch durchgeführt. Nachstehend findet sich eine Liste der befragten Organisationen und dem jeweiligen Gesprächspartner.

I. Reedereien/Speditionen

1. Reederei Jaegers, Herr Dr. Jaegers
2. Kühne und Nagel Euroshipping GmbH (Regensburg), Herr Friedrich Weigert
3. Reederei Schwaben, Dr. Ulrich Kowalski
4. MSG eG (Würzburg), Herr Staats (Vorstand)
5. Reederei Carl Robert Eckelmann, Herr Thies

II. Verlader

1. BASF, Herr Dieter Rogge, Senior Manager Global Procurement and Logistics Intermodal Transportation
2. Henkel, Herr Ralf Grunwald, Logistikmanager LKW, See- und Luftfracht
3. Lanxess, Herr Wolfgang Mansoat

III. Binnenhäfen

1. ElbePort Wittenberge GmbH, Herr Beyer

IV. Verbände

1. Bundesverband Öffentlicher Binnenhäfen e.V., Herr Boris Kluge, Geschäftsführer
2. Bundesverband Deutsche Binnenschifffahrt, Herr Rusche, Geschäftsführer
3. Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik, Herr Gburek

Annex 3. Fragen zu den Experten in Email-Runde 1

“Attached please find a list of literature on reliability that we compiled.

Our project for the German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (BMVBS) investigates whether and how reliability in road, rail and inland waterways transport could be integrated into cost-benefit analysis (CBA) of infrastructure projects in Germany. We are interested in both passenger and freight transport and both in studies to derive a monetary value of reliability and studies that seek to incorporate reliability into transport forecasting models or that investigate the impact of policy measures on reliability. In this first email round, we are asking some general questions. Specific information about the situation in Germany (and subsequent questions) will follow in the next round. Our questions in this first email round are the following:

1. Do you perhaps know relevant papers, reports or other sources that are missing from this list?
2. Are you currently working on this theme? Do you maybe have findings from current work that you can report to us (and that we would be allowed to quote, crediting you as the source)?
3. Which definition of reliability do you think is most appropriate for incorporating reliability into CBA (e.g. standard deviation of the travel time distribution, schedule delay terms, percentiles, buffer time index, ...)?
4. The BMVBS is planning to launch studies into the value of time and reliability. What do you think is the best method to find the appropriate value(s) of reliability, that could be applied in such studies (e.g. stated preference surveys or otherwise; if SP, what should be the presentation format that includes reliability; which model specification in estimation on the data)?
5. What do you think is the best method for including reliability in transport forecasting models?”

Annex 4. Antworten der Experten in Email-Runde 1

Die Antworten zu den Fragen 1 und 2 sind in die Literaturanalyse in Kapitel 2, 5 und 6 dieses Berichts aufgenommen. In dieser Anlage die Expertenantworten zu Fragen 3, 4 und 5 in der Originalsprache.

Question 3: Which definition of reliability do you think is most appropriate for incorporating reliability into CBA (e.g. standard deviation of the travel time distribution, schedule delay terms, percentiles, buffer time index, ...)?

John Bates:

For the moment I think we are stuck with the standard deviation: it has some useful and some undesirable properties, but coming up with anything else which could be used will need more specific justification than can currently be provided, I think. Nevertheless, the search should continue! Recent work by Fosgerau, Börjesson and others should be carefully evaluated (on the equivalence of schedule delay and mean variance formulations).

Richard Batley/Mark Wardman/Tony Fowkes:

I would not claim expertise on applying TTV to CBA, but it seems to me that the primary considerations here are:

- How do we best value travel time variability TTV? (to follow in Question 4)
- How do we best forecast the demand impacts of changes in TTV? (Question 5).

Aside from these considerations, there also may be cause to assess:

- The manner in which valuations of TTV change over time in relation to changes in incomes and travel costs: I can't immediately see strong reasons for favouring one definition of TTV over another in this regard.
- The particular context of the scheme: if the intervention is a local public transport scheme, it may make sense to focus on lateness relative to the PT schedule; if the intervention is network-level congestion pricing, it may make sense to focus on standard deviation of TTV across the network. In short, the definition of TTV may be governed by the objective of the intervention/the performance metric most natural to the study context.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

This is a particularly difficult question. There is some literature about it. For example, as you well know, Small recommends looking at it through SD and we would tend to think that he is right (more on this later). Li, Hensher and Rose (2011) have a review about it (you have it) but they do not reach definitive conclusions about which is the most appropriate definition (as a conclusion they make the point that SD formulations tend to yield larger reliability values than just using the standard deviation of the travel time distribution).

Mogens Fosgerau:

- Various measures have different characteristics. It is ultimately an empirical question which measure is best. It will however be hard to get a credible answer, since we mostly have to rely on SP data.
- Therefore I like measures that have some base in theory, like the ones based on scheduling preferences.
- Among those, the variance and generalizations thereof have the great advantage of being additive and of being independent on other aspects of the shape of the travel time distribution.
- The value of standard deviation based on alpha-beta-gamma scheduling preferences, or other essentially equivalent measures, have the disadvantage of not having these properties.

Tony Fowkes:

The numerator of the ratio is taken from the value of an additional minute of journey time spread, VSP. For simplicity, we assume that one minute added to the standard deviation of arrival times will add 2.5 minutes to SP. If the distribution of journey time variability was Normal, then adding one minute to the standard deviation would have added 2.06 minutes to the 98% point we are using to calculate SP. However, we clearly need a positively skewed distribution instead of a Normal. Many Gamma distributions were tried, and the figure of 2.5 better reflects the situation when using those. The numerator is therefore taken as 40% of the VSP figure.

So, I am taking a “spread” from 0% to 98% of travel times, and converting that into standard deviation terms. So I think I am saying sd is ok, but it is so closely linked to some of the other measures you mention that alternatives are similarly good.

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

The measure of reliability will be used in conjunction with a value of reliability to represent value in a CBA. For automobile traffic, the measure will be focused on roadway variability, and the value of reliability will be focused on freely chosen trip-making. For scheduled service on rail, the measure will be focused on disturbances to scheduled departures, both primary and secondary (caused by primary disturbances to other departures using the same infrastructure), and the value of reliability will address travelers who optimize based on a discrete set of possible departures.

We begin by comparing a few possible measures by a common set of attributes:

Possible measures	Corresponding Scheduling Preference Structure (Marginal Utility Functions)	Network additivity	Fit to SP Data	Road	Rail
σ^2 (Fosgerau-Engelson)	Linear	If independent	Not so good	X	
σ	(unclear)	No	Good	X	
Expected Lateness (Fosgerau-Karlström)	Step	No		X	
Log-expected-exponent of T (Engelson)	Exponential	If independent	OK	X	
Function of Skewness (Engelson)	Quadratic			X	
Probability * length of delay	Various				X

For roadways, there is no single measure that has all of the most desirable characteristics. Certain measures have been associated with theoretical results with attractive properties: a simple expression using the variance has been found that corresponds to linear scheduling preferences. Also for the variance, given the strong assumption that variation is independent along successive links, then variance can be accumulated for links along a trip, although that is probably not realistic.

Yet, our reasoning is that one's choice of measure should be based on which one is observed to be most consistent with observed travel choices—not by choosing a preference structure first, then using the corresponding measure. In our estimations, the measure that has been most consistent is the standard deviation, so we lean toward recommending it, even if a corresponding preference structure has not yet been identified in theory.

For scheduled service, we recommend something in the form of $p^\alpha L$ (p is probability of delay, L is length of delay), where the parameter α needs to be estimated, and may be different for different ranges of p . Our estimations have consistently shown that the disutility of a probability p of a delay with length L is linear in L (which is a rather surprising result), while it is non-linear in p (halving the delay risk reduces the disutility with less than half). It appears that the parameter α tends to be close to 1 for relatively high delay risks p , while it is small for small delay risks.

There are various ways to found this and similar expressions in a microeconomic scheduling models, some examples are given in Börjesson and Eliasson (2011), Trp Res A.

Justin Geistefeldt:

In my opinion, the buffer time index (or the sum of buffer times) seems to be the most promising approach to include reliability into CBA. In the U.S., this parameter was already applied in a number of studies. The buffer time is a parameter that is directly perceived by the drivers and could be valued by specific delay cost rates. For applying this approach, the challenge would be to

find appropriate parameters that represent the different sensitivity of drivers to travel time reliability (e.g. the share of drivers or trips that require on-time arrival).

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

The appropriate definition of reliability for incorporation into CBA depends on how the impact of a policy on reliability is measured. Obviously both the standard deviation of travel time distribution and percentiles depend on how a policy affects travel time distribution. While the standard deviation is well defined, the percentile requires specifying which percentile (90th, 80th, 70th, etc). The buffer time index functions in a similar manner to the percentile measure.

Both measures can be used to represent the preferences of travellers, and which measure is the right could depend on the type of travel. While standard deviation separates travel time from variability, the percentile is important for scheduling. If one is concerned about not missing a flight or an important appointment, one is likely to rely on a percentile or buffer index. It is likely that a large percentage of the travellers (those with fixed schedule) use percentile/buffer index during the morning rush hour in their calculation of travel time. However a good part of travellers instead rely on standard deviation (or a similar measure) to calculate their travel time. Ideally one should use both measures in a CBA of a policy, if necessary data exist to differentiate between morning rush hours and the rest of the time, etc.

All these three measures represent characteristics of the travel time distribution, and hence require some estimate of the impact of a policy on travel time distribution for application in CBA.

Alternatively, one could use schedule delay terms which directly capture the effect of travel time variability on choices of departure and arrival times. For the use of schedule delay terms in CBA, one needs to measure the impact of a policy on scheduling. That implies the use of an activity based modelling system (including dynamic assignment), which is not available in most cases.

In the short run, the capacity of infrastructure is usually assumed fixed in dedicated right-of-way modes (rail, light rail, etc). Weiweg (2011) suggests that the total extent of train delays is due to the following causes:

- Number of faults (primary causes of delays)
- Timetable (number of trains, distance in time between trains in the same direction, meeting between trains in the opposite directions etc.).

It is probably simplest to have some estimate of the changes in travel time distribution as the result of the appropriate policies to address delays in short run.

The long term improvement in reliability relates to increase in capacity (number of tracks and siding, signalling system). Again the prediction of travel time distribution seems more plausible and hence standard deviation or a combination of standard deviation/percentile is the most suitable in CBA.

The improvement of the existing reliability of the shared right-of-way modes mainly relates to reducing congestion. Policy for reducing congestion is to either increase capacity or to decrease demand (e.g., congestion pricing).

While in this case too standard deviation is again the simplest to apply, it is important to have some indication about the extent to which the increase in capacity or congestion pricing results in changes in travel time variability. The use of scheduling delay term requires appropriate

modelling systems (activity based models) to predict changes in scheduling and is most appropriate for congestion pricing. For the case of shared-right-of way mode (as for the dedicated right-of-way modes) the most plausible approach is the prediction of the change in travel time distributions (during different time of the day if possible) and hence standard deviation or a combination of standard deviation/percentile is the most suitable in CBA.

David Hensher:

Among the traditional measures of travel time variability, schedule delay terms (early/late) are behaviourally superior given they are capable of addressing the asymmetrical costs of being early and late.

Yaron Hollander:

In my view there are three aspects of your definition of reliability which matter the most:

a) Simplicity. The application you're working on is for practitioners and not academics, and therefore it's likely that it will have to be fairly simpler. Some studies would show that one measure (standard deviation, delays, lateness, percentiles etc) is better than others, but if their preferred measure cannot be generated by practitioners for various applications, its theoretical superiority won't be an advantage. It needs to be a measure that can be the output of a simple forecasting model, ideally without a very long runtime. In addition, sometimes the measure you get from your network model isn't the same as the one needed for your demand model, and then this would require an approximated method for conversion between the measures which will lose some of your accuracy anyway (because the conversion will depend on different assumptions). The important thing to remember is that there is little value in developing a network model (to calculate the LEVEL of reliability), demand model (to calculate the IMPACT of reliability) and appraisal (to calculate the COST of reliability) that don't speak the same language.

b) Avoiding double-counting, i.e. the measure you use should focus on aspects of reliability which aren't reflected anywhere else in the appraisal. This is less obvious than it may seem, because sources of double-counting vary between models. For example, if you have a time-of-day choice model with a constant for the afternoon period, this would already account for reliability differences between morning and afternoon, and needs to be excluded from your definition; but if you don't have a day-of-week choice model (which we hardly ever have) then you might be ignoring the difference in reliability between the same journey on Monday and Thursday, and therefore this needs to be included in your definition.

c) Consistency. The German ministry probably wants this approach in order to assess different potential investments and choose the one which is the most economically advantageous. Whatever definition is used, it needs to be one that can be practically used across all potential projects they want to examine. This is not as trivial as it may sound, because it needs to be the same definition for different modes of transport, and the same definition for infrastructure and other types of investment.

Juergen Janssen:

Our first idea would be the following:

- Calculation of delays of trains

- Transfer the delays to the transport chains of passengers and goods

- Calculation of the transportation time effect (scheduled and unscheduled)

Paul Koster/Erik Verhoef/Piet Rietveld/Stefanie Peer:

Our discussion focusses on passenger transport. For freight transport the VOR will likely depend on the type of goods (bulk vs. just in time delivery). Furthermore is it crucial who is incurring the cost of delayed deliveries (shipper or receiver).

For a discussion on freight transport we refer to the setup of the Dutch VOTVOR study and other studies where Significance is involved.

It is useful to make a distinction between travel time variability and travel time uncertainty. If the travel time distribution is known by the traveler, we refer to travel time variability and if the travel time distribution is unknown by the traveler we refer to travel time uncertainty.

Second it is useful to make a distinction between scheduled (bus, train, metro, air) and unscheduled services (car, taxi). For scheduled services the choice of the departure time is limited by the timetable and therefore the cost of travel time variability depend on the timetable. Also trip chaining is important because the unreliability on the first part of the trip may result in missing the connection for the second part of the trip (Rietveld et al. 2001).

From a behavioural perspective the scheduling model is the most appealing since it relates travel time variability to arriving earlier or later at the destination than preferred. There are two competing specifications for scheduling costs in the literature (for more details: Small, 1982; Vickrey, 1973; Tseng and Verhoef, 2008). Although scheduling models are plausible from a behavioural perspective they are harder to implement in transport models because of the dynamic nature of the departure time decision. Dynamics are usually not available in (national) transport models, or only in a very rough manner (morning peak-evening peak and rest-of-day). Therefore reduced form cost functions are sometimes derived that relate scheduling cost to a statistical measure of dispersion.

For example, Fosgerau and Karlstrom (2010) showed that (assuming that travelers choose their optimal departure time) the cost of travel time variability is linear in the standard deviation for the Small (1982) model without lateness penalty. However, the costs do depend on the shape of the travel time distribution. This result does not carry over to the case of scheduled services (bus, train, metro)

Fosgerau and Engelson (2011) showed that the cost are linear in the variance of travel time for the Vickrey-Tseng-Verhoef (VTV) scheduling model, independent of the shape of the travel time distribution. Using this specification has two advantages over the scheduling specification of Small (1982). First, their results also apply for scheduled services, such as bus or trains. Second, the variance of travel time is additive across links (and so the cost of travel time variability) and therefore easier to include in network models. Recently, Engelson and Fosgerau (2012) studied a more general version of the VTV-model. They analyze for which specification of scheduling preferences the cost of travel time variability are still additive. However, all the derivations are done under the assumption that the travel time distribution is independent of the time of the day and is exogenously given. (Arnott et al. (1999) and Fosgerau (2009) analyze bottleneck models with endogenously determined travel time distributions.)

Which specification of the scheduling model is appropriate is an empirical question and the result determines the most appropriate indicator for the cost of travel time variability (standard deviation of delay or variance of delay). The VTV model is more demanding in terms of data because also departures after the preferred arrival time must be offered in the choice experiment.

Peer et al. (2011) showed that the mean travel delay is, in an empirical sense, strongly related to the standard deviation of travel delay and Fosgerau (2009) shows theoretically that this is the result of bottleneck congestion with random capacity and demand. Therefore the cost of travel time variability are strongly related to the mean delay. The mean delay is usually available in transport network models and therefore the reduced form cost can be roughly approximated as $(VOTT + k) \cdot \mu$, where $k \cdot \mu$ is reflecting the additional cost due to travel time variability and VOTT is the value of travel time savings. For example, Koster et al. (2011) and Koster and Verhoef (2012) use departure time choice models and show that the cost of travel time variability are strongly related to the mean delay.

The distinction between scheduling models and mean-variance models should not be taken to imply that all costs of unreliability are captured by scheduling disutility. There may very well be a residual value of anxiety, above implied scheduling costs, associated to stochasticity of travel times.

Hao Li:

Based on my understanding, scheduling delay terms are more generalized and might be the most appropriate measure for incorporating reliability into CBA.

Tim Lomax/Rich Margiotta:

Many of the terms are very related and yield quite similar results. Because travel times are not normally distributed and because very few people really care as much about being early as they do about being late, std deviations don't really work well. Percentiles can be used but buffer index and planning time index are better – they are more easily understood. You might look at Mark Hallenbeck's work at Univ of Washington. He's found that measures based on the 80th percentile might illustrate problems that are fixable by agency actions. He found the 95th percentile travel time is often related to bad weather. This suggests that (maybe) both measures are needed – 95th for talking to people about their trip planning and 80th to use in evaluating agency actions to remedy reliability problems.

Kai Nagel:

For me, all approaches should start from this construct, i.e. $E(U(x))$. With our model (MATSim), travel time variances come directly from the model, so I would just use this directly. A problem at this point is that we do not know if the variances produced by MATSim have anything to do with real world variances, but I am sure that we will eventually get there.

This is the way that I would consider "most appropriate", but at this point it is neither state of the art nor state of practice.

It seems, however, clear that such an approach cannot be directly integrated into the current German CBA approach. It thus needs to be parameterized. For this, some formulation that multiplies travel time variance with a disutility value that depends on the trip purpose seems to make sense. Unfortunately, trip variance cannot be obtained by adding up link variances, so some other method needs to be found.

Henrik Swahn:

The answer of which definition is most appropriate relates to the CBA method that would be applied. In a CBA the aim is to attach an economic value to the outcomes of a set of alternative choices – in fact in practice to finding the value difference between a reference situation and one or more alternative lines of action. A decision maker using CBA in transport typically is a public agency responsible for (some parts of) infrastructure. Such a decision maker would like to link infrastructure properties to costs and benefits of the infrastructure users. The quest for values of travel time and value of travel time variability stems from this conceptual framework. Typically, it is assumed that there is a clear link between one hand transport time, standard deviation of travel time etc and users' costs and benefits on the other. It is also assumed that it is possible to make a quantitative estimate of the effect on transport time and its standard deviation of infrastructure related measures that are considered.

Without being able to give any clear recommendation as to the choice of reliability definition and measure unit I would like to point out that more than one definition may be required, e.g one that relates to the properties of infrastructure/transport system and another that relates to the users' world. The former may be totally incomprehensible to the world of the users and vice versa. Considering this likely duality of the concept of reliability the CBA will only be possible to carry out with the aid of a link that is established between the two (or more) concepts. In establishing the link mentioned above it should be observed that both transport time and its standard deviation (or similar) are affected by the properties of the infrastructure per se combined with its usage rate, and the behaviour/technology applied by transport firms and/or individual transport actors as well as the relevant (traffic) regulation. Therefore, the effects on users' travel time and perceived reliability of infrastructure measures are mediated by numerous other factors. In trying to make operational this mediation link it must also be observed that the mediation process has a time lag.

Lori Tavasszy:

I have doubts whether the SD has any behavioural significance (but have no knowledge of research in this area). I think people derive utility from minimizing risk and in that sense the shape of the distribution plays a role, both in terms of the form of the tail and overall skewness. Perhaps a definition involving a distribution of extremes would be useful.

Inge Vierth:

Freight reliability is a complex topic. Our study above showed that delayed trains, too early trains and cancelled trains are part of the problem. However, the rail operators stress that the fact that freight trains are delayed does not mean that the cargo arrives too late at the receiver (delays are taken into account when designing contracts and measures are taken when problems occur). It is probably most important to look at the reliability experienced by the shippers, both in terms of time (number of delay minutes) and risks for delays/too early arrivals and cancelations. But reliability aspects are also relevant for the transport operators.

Peter Vovsha:

Below is my tabulation that relates to 4 main approaches to quantify travel time reliability and corresponding technical approaches both on the travel demand and network simulation side:

Method	Demand model	Network simulation
Perceived highway time by congestion levels	Easy	Easy
Time distribution (mean-variance or buffer)	Easy	Difficult, first promising attempts
Schedule delay cost	Preferred arrival time?	Route choice? Generation of OD time distribution?
Temporal utility profiles for participation in activity	Entire-day schedule consolidation?	Route choice? Generation of OD time distribution?

In my view first two methods (perceived highway time by congestion levels and travel time variability) can be applied in practice today and that's what we pursue in the US. The other two approaches (schedule delay and temporal profiles of activities) are promising behaviorally but cannot be support by real data (except for abstract SPs that are not favored in the US) and cannot be yet incorporated in operational models. There also problems on the network simulation side with these approaches that have to be understood. An operational travel model should include a network simulation procedure that can generate the chosen reliability measures for different scenarios.

Tom van Vuren:

WebTAG 3.5.7 describes the current approach to including travel time variability in CBA for English transport schemes. It uses the standard deviation for motorway links but for urban situations the coefficient of variation at origin-destination level.

Pim Warffemius:

There are three main types of definitions of travel time reliability, namely: (1) the standard deviation of the travel time distribution; (2) the difference between percentiles of the travel time distribution; and (3) the number of minutes one will depart or arrive earlier or later than preferred. The first and second definition are closely related. The third approach is most consistent with the behavioral theory (scheduling behavior) that underlies the valuation of reliability, so ideally would be the preferred definition. However, the monetary values obtained for being early or late are very difficult to implement in a CBA framework, because the link to travel time period choice is not made in the CBA (there is no reference to clock time, only to journey durations), and the preferred arrival times are unknown. Moreover, the nature of traffic and transport models, particularly models of road networks, means that it is much easier (though still difficult) to get data and model predictions on the standard deviation of travel times than for the third definition of reliability. Primarily for pragmatic reasons, I think the standard deviation

of the travel time is –at this moment- the most appropriate definition for incorporating reliability into CBA. Additionally, through assumptions on the distribution of travel times there is a theoretical link between the theory on scheduling behavior and the standard deviation of travel times.

Note: The buffer time is the extra time a traveler should add to the average travel time to have a high probability (for example 90%) to arrive on time due to travel time variability. This definition of reliability is related to standard deviation but measured in extra travel time.

Question 4: The BMVBS is planning to launch studies into the value of time and reliability. What do you think is the best method to find the appropriate value(s) of reliability, that could be applied in such studies (e.g. stated preference surveys or otherwise; if SP, what should be the presentation format that includes reliability; which model specification in estimation on the data)?

John Bates:

This question really needs to be postponed till the Dutch work is concluded! I think we can then evaluate whether the passenger SPs have succeeded (the issue, in my view, is still one of presentation, not principle - SP is the right approach for personal WtP). I am much more sceptical about SP for freight (and perhaps business as well) - even VTTS is dubious I think. Again, work by Fosgerau etc is relevant here.

Richard Batley/Mark Wardman/Tony Fowkes:

As regards valuation, standard practice is to estimate valuations of TTV through the application of Stated Preference (SP) data to Random Utility Models (RUM). This is generally a sound approach, I believe. The main areas of debate concern the inter-related questions of how to represent TTV within the utility function of the RUM, and how to represent TTV within SP experiments.

On this matter, there are two principal options, namely the mean-variance (or mean-standard deviation) and scheduling approaches. On balance, I prefer mean-variance, since this is the natural means of summarising the features of the travel time distribution, lends itself readily to application to assignment models (see comments below), and avoids the challenge facing the scheduling approach of having to elicit/infer the Preferred Arrival Time (PAT) of each and every respondent.

A common criticism of the mean-variance approach is the difficulty of communicating the features of the travel time distribution to SP respondents. I believe however that there are ways of doing this successfully, and I do not consider the challenge of communicating the distribution to be significantly greater than communicating the (somewhat nebulous) concept of PAT. The mean-variance is, I feel, appropriate for both road and public transport contexts, although in the latter context it may make sense to present travel time variance with reference to the public transport schedule.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

Definitively SP as it is better for trade-offs/valuations. Now, it is also a useful idea to mix RP and SP data, even incorporating latent variables (that is in fact our proposal for my student's PhD).

The most usual presentation in SP studies is to provide 5 possible values for the travel time that a person could experiment when travelling at a certain time. However, we rejected it because we were not certain about how exactly do people process those 5 values and thus, how these should be included in the model. The questions, in this approach, would be related with what do respondents do with the data ... do they see the average, do they work out the standard deviation, do they just see the maximum and the minimum?

Another approach uses bars to represent travel times or show standard deviations; we think that these are even more complex for the respondent and we sincerely doubt that people think in that way. In this sense the 5 times are more natural as we doubt people are able to work out standard deviations.

Again, you might wish to look at our TRB paper and also to a paper by Koster and Tseng (2010), Stated choice experimental designs for scheduling models, that appeared in the recent book by Hess and Daly on the previous choice modelling conference (Choice Modelling: The State of the Art and the State of Practice, Emerald, Bingley).

Mogens Fosgerau:

- Relevant RP data are very hard to come by.
- I think it is worthwhile to look to experimental economics where there is a long tradition for measuring risk preferences.
- I think it is strictly necessary to account for loss aversion and other biases.

Tony Fowkes:

I would recommend the LASP approach. It obtains lots of data from each individual. It also quickly adjusts so as to ask highly pertinent questions, which challenge respondents, some of whom liken it to on the job training. I think it is very efficient. I have also had experience of "Stated Cost" experiments, whereby respondents are asked what costs arise as delays mount. This has some attractions, but some drawbacks. Firstly, interviews take 90 mins as against 60 mins for LASP, leading to evident respondent fatigue. Secondly, LASP requires minimal real data, whereas SC requires loads, but often receives very little. Some respondents just refuse to give any numbers. In other cases, numbers from other firms (as similar as possible) have to be put together by the post-interview analyst, – eg. costing extra lorry movements, keeping staff back etc – in order to get anything out at all. LASP is described in the attached paper, and the published version in TRESB 2007.

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

If one can get RP data, then that is attractive in many ways, yet it is difficult to know what uncertainty distributions travelers have in mind when they make choices. There is most likely a time lag between delays taking place and travelers responding to them: if a certain train line, for example, experiences a lot of delay problems in May but not in June, then travelers' behavior is most likely not affected by this in May, but most likely in June - and it is uncertain how long this effect persists.

For SP, we have had rather good success in the context of scheduled services with presenting p and L directly as a binary choice (together with travel time and travel cost), leading to fairly consistent estimations. This can also be used for auto trips, but it is perhaps more appropriate to present a wider set of potential travel times, such as five different travel times. We ourselves don't have much experience with carrying out SP studies for auto trips. Also, note that the estimated value of variability can be biased downward if one uses frequent delays in the SP rather than less frequent delays (see the point above about the disutility of delays being proportionally higher for small delay risks). It's important to explain the probability p in a comprehensible way: we've used formulations such as "If you would do this trip each weekday, then you experience a delay once every two weeks." with good results.

Note also that there is evidence in the literature of problems of consistency between SP and RP with respect to how people use probabilistic information – that people behave in real situations differently from how they do in the SP study. This has been investigated at Georgia Institute of Technology in the context of lotteries, but could quite possibly also apply to uncertain travel times.

When designing an SP study, we emphasize that it is crucial to be aware of the choice context one is presenting to respondents. In particular, it is important to formulate the question so that the respondents know exactly when in the course of events that the hypothetical choice takes place. For example, when presenting an alternative where the traveler arrives "15 minutes late", it should be made clear to the respondents that they would not have known in advance about the delay, and therefore would not have rearrange any plans to accommodate it. One way to do this might be to remind respondents to take into account the preferred arrival time, when making the choice.

Justin Geistefeldt:

As my research expertise is in the field of traffic engineering and management, these questions can better be answered by experts in transport economics and transport planning, respectively. In addition, I believe that particularly question 5 is too complex to be answered within a few sentences.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

Good data sources for revealed preference (RP) data are difficult to find. Also, such data is likely to be linked to a specific case such that the results cannot necessarily be generalized to the whole sample relevant for CBA. Good RP studies would however be an important contribution because it would give something to compare the SP results with.

Still, to find the appropriate values, we would primarily recommend launching an SP study. When designing this, one should try to use a presentation format which does not lock the researcher to one specific model, but allows different types of models to be analyzed and compared. The presentation of a simplified travel time distribution has this feature. Our experience with presenting five travel times pivoted around the reference travel time indicates that this works reasonably well. Including departure and/or arrival time as well would give more information, but one should take into account that this also requires the respondents to process more information. Also, it is important that the choices appear meaningful. Respondents might not accept the scenario presented if it implies that they adjust their departure time differently

than they would do in reality. (Unless we make it clear that we are actually interesting in departure time choice, but then it might seem odd to also have travel costs as an attribute.)

In the case of applying this to freight, our experiences are mixed. We believe that shippers which buy transport services from others should be able to participate in the same type of SP exercise, given that the exercise is properly adjusted. In the case of carriers, the focus should be on the impact of reliability on operating costs, and this could be investigated in several ways. If one is to use SP here, it should be made very clear to the respondents how the trade-off situation should be interpreted such that we know what is included in the respondents WTP.

When choosing model specification, we recommend looking closely at the latest research in this field. The importance of reliability is likely to vary quite a lot among different groups, and the model should hence capture this heterogeneity, by including observable variables and modelling unobserved heterogeneity. If there is a tendency that many respondents ignore one or more attributes, this should be taken into account in the modelling, otherwise it could impact the results quite a lot.

David Hensher:

SP is better for travel time variability research, especially on data collection. Given that the concept of reliability (or variability) is associated with repetition, either according to real experience or other sources, it is argued that it is difficult to capture it in the actual choice situation with alternatives which are different from each other in terms of the level of variability in travel times.

Travel time variability leads to multiple possible travel times for a repeated trip. Therefore, given a departure, a trip may end up with arriving early, on time and late, and each scenario has its corresponding probability of occurrence. The best way to represent travel time variability in the SP experiment is through a series of possible scenarios per alternative where each scenario has its level of travel time and associated probability (e.g., arriving early: travel time = 50 minutes, probability =20%; arriving on time: travel time = 60 minutes, probability =50%; arriving late: travel time = 65 minutes, probability =30%). We have used this SP format in all our recent time variability research (see the above).

Given there are multiple possible travel scenarios per alternative, the decision-making process is under risk. In such an environment, a decision maker may show a risk-averse, risk-taking attitude or risk-neutral according to the psychological and behavioural economic literature. If a decision maker is risk averse, a sure alternative would be preferred to a risky alternative (with multiple possible outcomes) of equal expected value; if risk taking, a risky alternative is preferred to a sure alternative of equal expected value; and if risk neutral, two alternatives of equal expected value is indifferent). The majority of travel time variability studies are established on Random Utility Maximisation (RUM) or Maximum Expected Utility (MEU), which postulate a linear utility specification and implicitly assumes a risk-neutral attitude. Some alternative behavioural theories allow for risk attitudes through non-linear utility specification. We have incorporated alternative paradigms into travel choice models in a series of papers to measure and value travel time variability (see Hensher et al. 2011; Hensher et al. In press; Hensher and Li Forthcoming; Li et al. Forthcoming).

Yaron Hollander:

In recent studies on reliability, it seems that each type of SP survey gives different kinds of results, and it's for the researcher to assume which set of values truly reflects the attitudes towards unreliability. For this reason I wouldn't recommend using SP at all. If new data is collected, the important thing would be to understand where reliability is in the priority list of people in the study area, i.e. to understand whether they describe their own behaviour as dependent on the unpredictability of travel times, and what proportion of the people raise this as a consideration WITHOUT seeing a survey designed by somebody else. I would suggest exploring this primarily through qualitative interviews and focus groups. I would have more confidence in an approach that is tailored at a qualitative way to the way travellers think, and only then it is converted to a quantitative approach based on the modeller's own assumptions.

Juergen Janssen:

We would prefer stated preference surveys attached with real done journeys

Paul Koster/Erik Verhoef/Piet Rietveld/Stefanie Peer:

Ideally a joint analysis of SP and RP data is preferred, because both data sources have their own advantages and disadvantages (Hensher, 2010). However, given the fact that RP data is seldom available at a large scale, the data will likely be collected using stated choice experiments. Designing such an experiment is a challenge and there are very few studies that investigate the effect of presentation format on the estimated WTP values (Tseng et al. 2009). Some presentation formats are discussed below. For a discussion of other formats we refer to Tseng et al. (2009). Arguably the most basic setup is given in figure 1a:

Figure 1a: Basic presentation format for evaluating the cost of travel time variability:

Which alternative do you prefer?

Travel cost	10 euro	8 euro
Travel times	30 minutes 50 minutes	25 minutes 55 minutes

Two travel times are given, each with a 50% probability, and the arrival times and departure times are implicit.

Figure 1a has the following advantages:

- It is the simplest possible setup that captures travel time variation
- Using this setup reduced form cost functions (mean standard deviation or mean variance) can be estimated.

Figure 1a has the following disadvantages:

- It does not allow for the estimation of scheduling models
- It makes probabilities explicit while people may have difficulties with interpreting them.
- It does not allow for the estimation of models that take into account that people transform probabilities (Hensher and Li, 2011; Koster and Verhoef, 2012).

- It is not clear if it measures the attitude to travel time uncertainty (not knowing the probabilities) or only the cost of travel time variability, because probabilities are not made explicit in the choices.

Figure 1b extends figure 1a in order to make it possible to estimate scheduling models. It has the advantage that it formulates the choice as a departure time decision, which resembles the real decision of the traveller. Note that implied arrival times could be added (these are, of course, no additional attributes as they follow from departure and travel times). As with the previous setup, it must be explained to the respondents that the two travel times have equal probability, otherwise this setup measures disutility of variability and uncertainty of travel times together.

Figure 1b: Basic presentation format for evaluating the cost of travel time variability:

Which departure time do you prefer?

Your preferred arrival time is 9:10		
Departure time	8:30	8:45
Travel times	30 minutes 50 minutes	25 minutes 55 minutes
Travel cost	10 euros	8 euros

Other variants of these figures are used with 5 mass points for the travel time distribution or with making the arrival times explicit (Tseng et al. 2009). Figure 2 extends figure 1b by making probabilities and arrival times explicit.

Figure 2: Presentation format for evaluating the cost of travel time variability:

Which departure time do you prefer?

Your preferred arrival time is 9:10				
Departure time	8:30		8:45	
Probability	90%	10%	90%	10%
Travel times	30	50	25	55
Arrival times	9:00	9:20	9:10	9:40
Travel cost	10 euro		8 euro	

Figure 2 has the following advantages:

- It makes explicit what may be of importance for the traveller (preferred arrival time, departure time, probability, travel times and arrival times).
- Using this format scheduling models and reduced form cost functions (mean standard deviation or mean variance) can be estimated. For the estimation of the VTV model it is preferred to also offer departure times after the preferred arrival time.
- It allows for the estimation of more complex models that take into account that people transform probabilities (Hensher and Li, 2011; Koster and Verhoef, 2012).

Figure 2 has the following disadvantages:

- It offers 16 values that change in the design (preferred arrival time remains fixed over the choices).
- It does not measure the attitude to travel time uncertainty (not knowing the probabilities of the travel time distribution).

Figure 3 shows an alternative setup that allows for the measurement of the value of travel time uncertainty, since the probabilities are not given explicitly, there may be uncertainty aversion and therefore extra disutility because of not knowing the travel time distribution. One could argue that this is closer to the revealed choice of the respondent since travel time distributions are usually unknown before travelers depart.

Figure 3: Presentation format for evaluating the cost of travel time uncertainty:

Which departure time do you prefer?

Your preferred arrival time is 9:10		
Departure time	8:30	8:45
Travel time range	30-50 minutes	25-55 minutes
Arrival time range	9:00-9:20	9:10-9:40
Travel cost	10 euro	8 euro

It is hard to decide at this stage which is the best format, because no large scale systematic studies are available in the literature. However a combination of figures 2 and 3 (with the same underlying design) allows for the estimation of the cost of travel time variability (for the 50%-50% case), the cost of travel time uncertainty, scheduling and reduced form cost models, while retaining as much simplicity as possible. If scheduling models are not preferred, a simpler setup as in figure 1a is preferred. But a risk is that respondents may make different implicit assumptions on how they can adjust departure times in response to differences in variability.

Hao Li:

I would think RP is better. However, collecting enough RP data to make sure the utility model can be estimated is a huge work for such analyses. Depending on the time budget, SP or RP or a combined method could be chosen. I would suggest using the utility model of the scheduling approach adding an extra term of travel time standard deviation for estimation on the data.

Tim Lomax/Rich Margiotta:

I think SP is the only way to reasonably get this right now, but if you could get a shipper to let you have access to their routing decisions, you could get a very good idea of their sensitivity to reliability. I say SP is the way because the reliability really depends on a lot of factors – you can explore them with an SP. Factors like:

- What is effect if you're late?
- Who would be harmed or disappointed?
- Can you call ahead and reschedule? Or delay the assembly line?
- Trip purpose?
- How irreplaceable is the trip or the end purpose?

I think the questions must be framed to put the respondent in a position of a car traveller, trucker, shipper, manufacturer, etc. And then ask about the effect of an unforeseen delay and how much they would pay to make a trip with great certainty vs. one with little certainty.

Kai Nagel:

Given my above position, schedule delay experiments seem to make most sense. This will in most cases be stated preference, something like: "Given your current schedule, if we now assume that the train will be Xmin late in 1 out of 10 cases, would you take a train Y min earlier?"

If you are able to get the pivot point for the schedule, one might even get it simpler, i.e. something like "Given your current schedule, if we now assume that the train will take Xmin longer, but Y Eu cheaper, would you select that?"

I would try to estimate the usual models of type $\Delta U = \dots + \beta_{\text{late}} * \Delta t_{\text{late}} + \gamma_{\text{late}} * \text{dummy}_{\text{late}}$. And also the same for the "early" direction. I.e. Vickrey-type models. I would also try other forms, e.g. add terms that are quadratic in t_{late} , that use relative instead of absolute lateness, etc.

From this, one should be able to obtain the disutility of a variance of the travel time. (*)

Henrik Swahn:

For a general discussion of related issues see the reference Swahn & Bates included in the literature list.

From my earlier experience (e.g from commissioning and monitoring the Inregia study for SIKa mentioned in the reference list) I conclude that SP-studies in this field are much more difficult to carry out than within passenger travel. There are difficult issues of interpretation, identification of, behavioural model specification, finding relevant participants of SP-games etc. Therefore, naïve SP-formats should be avoided. Alternative approaches would be:

- a) To try to find a value of reliability from RP studies based on actual choices of transport alternatives/transport chains; of course a necessary prerequisite would be to have access to a relevant measure of the "reliability" variable relating to the transport choices (see above).
- b) Analytical approaches based on formal analytical modelling of logistic choices of "model companies" – some kind of case study approach. With a sufficient number of cases it may be possible to make some crude generalizations
- c) Possibly, approach b) would provide insights that eventually would allow meaningful SP-schemes to be designed for this type of value problems, possibly SP-schemes that would allow interaction between game participants as well as consultation between participants as an intentional part of the game process
- d) New studies launched should observe and also tackle the issue of establishing the "mediation" link between the users' perception and valuation of reliability viz. one or more transport system related reliability. The latter would also be relevant for establishing the link between on one hand material properties of infrastructure, regulation etc and the reliability output of infrastructure etc on the other.

Lori Tavasszy:

I'd opt for a SP with a flexible model form that allows different notions of risk, and perhaps different utility functions to be tested. (I assume real choice situations are hard to find in which the effect of unreliability can easily be isolated).

Inge Vierth:

It is a challenge to find appropriate values of time and reliability for freight with help of SP-studies. There is a much longer tradition for passenger transport. Possibilities to use methods, based on EOQ etc. should also be analysed.

Peter Vovsha:

I suggest a combination of SP and RP studies. To support an RP study, GPS-assisted data on travel time variability should be collected systematically and integrated in a regional travel model. I would strongly suggest to support simpler methods first and estimate models based on perceived highway time by congestion levels, standard deviation, and buffer time. More sophisticated methods for estimating schedule delay cost and temporal utility profiles can be explored in parallel using SP studies but I see it more as a long-term research direction. Even if a schedule delay model can be estimated using an SP survey it is not clear how this model could be used in travel forecasting and CBA at a regional level.

Regarding SP studies I'm a strong believer in SP extensions of the RP surveys (in particular, household surveys). I personally prefer SP designs based on probability of a certain amount of delay or 5 different travel times for the same trip.

Tom van Vuren:

I have no strong views on this and expect that others are better placed to comment.

Pim Warffemius:

A utility function can be specified that includes the mean journey duration as well as the variance (or the standard deviation) of the journey duration. Parameters for both variables are estimated, usually on stated preference data. In the stated preference interviews, the variance of travel time as such should not be shown to the respondent because this is recognized as a too difficult concept for a general audience. The issue of how to present the reliability information effectively and clearly to the respondents has been studied as part of the Dutch valuation study. The presentation format favored by most of the respondents is a verbal description containing a small set of possible journey durations. Average journey time and the variation in travel time as presented in the stated preference survey should not be correlated. Else double-counting will occur when in a cost-benefit analysis one would include travel time and reliability gains, with values for both coming from the stated preference survey.

The use of internet panel groups for collecting research data grows, so too does the need for a deeper understanding of the medium's unique methodological challenges. One key area that should be taken into account is the fact that most Web-based research utilizes "volunteer" groups rather than probability samples. While such groups can be used effectively for certain types of studies,

treating them as equivalent to population-projectable samples can produce misunderstandings. We experienced this ourselves in the Dutch valuation study.

For the application of these outcomes in practical CBA's of transport projects it is necessary that not only the project effects expressed in (mean) travel times are predicted, but also the in terms of the standard deviation of travel time. In order to appraise the reliability effects of infrastructure projects in CBA's work is also needed on the traffic forecasting tools. These need to be improved, so that they are able to provide estimates of the standard deviations or percentiles of travel times on links. Current models typically don't have this capability.

Question 5: What do you think is the best method for including reliability in transport forecasting models?

John Bates:

This remains an even greater problem, and is highly context-specific. The work I was recently involved in is specific to Motorways (ie, limited access express highways). There is the UK work relating s.d. to congestion levels which was briefly reviewed in our joint work with Polak, and in more detail in my Department report. I do not think the relationships are very robust, but I'm not aware of anything better. Rail (and to a lesser extent bus) is an even more difficult issue.

Richard Batley/Mark Wardman/Tony Fowkes:

When conducting an appraisal of any intervention that could significantly affect TTV, it is appropriate to make a judgement at the outset as the level of detail that is required in representing the demand-side impacts. One could conceive of study situations where changes in TTV could have significant impacts on departure time choice, mode choice, route choice, and overall number of trips generally. However, there may also be study situations where travellers' choices are restricted (certainly in the short term), and even significant changes in TTV could have limited impacts on the demand side (e.g. see the ITS Leeds (2008) study on rail reliability undertaken for the UK Department for Transport).

Forecasting the trip matrix:

If the demand side is judged to be significant to a given study context then it may be appropriate to analyse the relationship between TTV and the overall number of trips. If RUM is used to develop valuations, then in principle there is a need to interface RUM with a conditional demand model; this is an area where methods are weak, I feel.

Forecasting route choice:

What work has been done on forecasting TTV has generally been concerned with road applications, and little comparable work has been conducted in relation to public transport. I was part of the team which undertook the 'Multi-Modal Travel Time Variability' study for the UK Department for Transport. Chapter 4 of the final report from this study highlighted a number of significant challenges that hinder the extension of network assignment models to account for TTV, with particular focus on road. Among the conclusions of this study was identification of 3 desirable properties of model specification, if TTV is to be appropriately represented in network assignment. Specifically:

- Route disutility assumed to be a linear combination of travel mean and variance.

- Travel time variability specified by link-specific variances that are independent of flow.
- Differences in response to TTV across the population represented by multiple user classes.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

We have not thought about this issue deep enough. Your paper (De Jong et al, 2009 at the European Journal of Transport and Infrastructure Research) is an obvious reference; in our study we started by thinking we wished to produce a time of day choice model that could be integrated with a strategic transport model ... but we are finding this quest increasingly difficult, as the data required for estimating an appropriate TOD model is quite complex ... reliability is a close issue, maybe a latent variables approach offers the best promise of success.

Mogens Fosgerau:

- One comparatively simple way is the following.
- Create volume-delay as well as volume-variance (or similar) functions that can compute generalized cost data at the link level.
- Compute generalized cost for each link, using additive measures, applying for example a value of travel time variance.
- Use traffic model in the usual way, but with a generalized cost measure that includes travel time variability.

Tony Fowkes:

The method I used in the attached paper is well tried. 98% is one miss in 50, ie one week in a year, and is easily understood. Beyond that is act of God and has to be put up with. So the question is how to treat the 98% point, - either as a spread from zero % (as discussed above) or in relation to a fixed time beyond which goods are Late, ie if the 98% arrival is at 10.00, and the late point was 09.00, it is one hour late. This can work very well (see paper). The main problem as I see it, though I note it doesn't seem a big problem in practice, is that the costs of lateness clearly change non-linearly with the amount of lateness.

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

With a static assignment for road traffic, one could easily implement something like

$$\sigma = f(\text{mean travel time, freeflow travel time, roadway characteristics, time of day, etc.})$$

or the same for mean lateness – see for example ETC papers by Eliasson and by Franklin. The relationship can be applied link-by-link. One has to be careful to apply the relationship only to the time spent on a specific link, not to the queuing time for arriving at that link due to excess demand over capacity (this may be problematic depending on how the volume-delay functions are designed). Moreover one needs then to aggregate the standard deviation to the whole routes and to Origin-Destination (OD) pairs. One way to do this in a static model is to assume that travel times on consecutive links are independent and that the travelers choose routes not taking the time reliability into account (neither of these assumptions is realistic; see our answer to question 3). Then the OD variances can be accumulated by a slave assignment. Alternatively, the relationship can be applied by OD-pairs if it is estimated for long road sections and if it can be assumed that the travel time variability on the links not covered by the relationship (e. g. the connectors) is negligible. Relationships between OD mean travel time and OD standard

deviation of travel time have been estimated within the recent SHRP project in USA (Mahmassani, Vovsha) but the report is not available yet. The travel time variability obtained as described above can be included via an additional term in the utility function for choice of mode and destination.

With a dynamic assignment for road traffic, the best way would be to include the travel time variability consideration in the choice of route and departure time. The consecutive simulations will use randomly perturbed travel demands and link travel times. The utility function for choice of route and departure time will include the travelers' expected cost of early departure and the expected cost of late arrival based on previous simulations. The simulations continue until convergence of the expected costs is reached. The inclusive cost value (e.g. the expected minimal cost) for each OD pair over all used routes and departure times can then be used in a demand model for mode choice and destination choice.

Justin Geistefeldt:

As my research expertise is in the field of traffic engineering and management, these questions can better be answered by experts in transport economics and transport planning, respectively. In addition, I believe that particularly question 5 is too complex to be answered within a few sentences.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

The best method for including travel time variability is through an activity based model system (with dynamic assignment).

Since activity based model is not available in most cases, travel time variability can be simulated through volume-delay function (see Engelson 2011a).

David Hensher:

First, the choice of departure time to account for the impact of travel time variability needs to be added into traditional four-stage models (trip generation, trip distribution, mode choice, and trip assignment) so as to deliver more robust traffic forecasts, given that the departure time choice might be the first and most sensitive adjustment to the changing level of variability. Moreover, in trip assignment (or route choice), the generalised costs also need to include the value of reliability (in the current practice, only the value of time and money costs (e.g., fuel and toll) are considered).

Yaron Hollander:

Questions 3 and 4 above summarise what I think the main considerations are. I don't think a method that does this in a convenient way has been developed yet or become widespread. The approach illustrated in my attached paper did it quite well for some of the benefits (not all of them) from a public transport project. This approach has been accepted by the UK Department for Transport but is not part of their formal guidance. If your studies identifies a pragmatic and consistent way of estimating reliability benefits, we would be very keen to learn from it!

Juergen Janssen:

The best way would be to include it in the mode- and route-choice models

Paul Koster/Erik Verhoef/Piet Rietveld/Stefanie Peer:

This is a trade-off between complexity and ease of implementation. Ideally the dynamic choice should be incorporated in the network analysis (see for example: Friesz et al. 1993), however this may be infeasible from a computational perspective. A reduced-form approach as described above may be feasible in the short term, since the cost of travel time variability are strongly related to the mean travel delay.

In Peer et al. (2012), we distinguish between measures of travel time variability that are based on “rough information” versus “fine information”. Key is that wimple measures of travel time variability may ignore that much of this is in fact predictable. For example, pooling all weekdays leads to greater variability than when separate measures are computed for Mondays, Tuesdays, etc. Similar for holidays versus normal days, season of the year, weather... This raises two questions. First: what is the appropriate statistical measure for the dispersion of travel times? (One might assume that most people will be aware of the day of the week, etc...). Second, is the “unit value” of reliability that is used indeed anchored on the same measure? For example, when showing the above choice situations, would respondents treat the dispersion as representative for the whole year, and realize they can predict part of it by looking at the calendar and out of the window (weather)? Or would they treat it as a dispersion given the weekday, given the season, the weather, etc. Obviously, the two should be consistent: the value to be used should match the statistical measure.

Hao Li:

By incorporating travel time reliability in the utility models when performing the mode and route choices to finally derive the demand for each mode and the routes.

Tim Lomax/Rich Margiotta:

At this point I think it's some sort of post processing analysis. Especially for corridors, you can get a travel time dataset that shows percentiles. You can use that to run some simple simulations or analyses that estimate the reliability effects of different actions.

Kai Nagel:

See my answer to question 3.

Henrik Swahn:

I certainly have no ready made answer to this. Just a few scattered remarks.

What I have met in practice is to include reliability as a variable explicitly influencing the users' generalized cost. In the earlier Swedish national goods model this was done very crudely by defining a reliability cost term directly linked to the transport time variable and assuming a fixed proportion (inter alia based on Bruzelius' rough estimates) between time cost of goods in transport and reliability cost. This approach I judge as too simplistic today.

In my opinion it would be wise to try to estimate a freight demand model using independent variables (and also dependent variables expressing freight transport demand) that are more closely linked to the properties (price, time, reliability, damage protection etc) of the transport alternatives actually offered to shippers – and then linking back from there to infrastructure

properties via separate models. I think that current approaches are too much influenced by the infrastructure production sector's quest for user utility motivating investment.

Moreover it must be observed that transport forecasting models deal with the aggregate outcome of transport choices of numerous actors (travellers or buyers/providers of freight services) in various time perspectives. The users' perception of reliability properties of any transport mode or transport chain – and thus the users' GC of various transport chains – is bound to change only with considerable time delay – a learning process with considerable inertia is in operation. It may thus be necessary to allow for this “inertia” in order to get a good fit to observed data, e.g. via mode or chain specific “constants”. The problem is though that these constants should be allowed to change over time reflecting the accumulated experience and learning process of users.

Lori Tavasszy:

Modelling reliability is not so difficult, modelling change in reliability due to changing circumstances is. There is some literature on the subject but as far as I know focused on link level, standard deviation based reliability measures. I think modelling extremes and network effects are the real challenges, also in the light of the above. Dynamic, stochastic network models should be considered anyway.

Inge Vierth:

The logistics Norwegian and Swedish logistics model (ADA approach) could be developed to include reliability aspects.

Peter Vovsha:

I suggest focusing on perceived highway time, standard deviation, and buffer time (80th or 90th percentile) and resolving technical issues associated with incorporation of these measures in both demand models and network simulation procedures first. This is still a challenge with respect to network simulation procedures although some significant progress has been recently made (some of which I will be glad to present at the meeting if needed). In parallel, more advanced methods and theories can be developed and tested (including schedule delay, temporal utility profiles, transformations of risk analysis, etc) but it will take time to bring these methods to the necessary level of technical maturity and support by the data.

Tom van Vuren:

In the Gordon et al (2001) paper and the Travel Time Variability - Follow On reports we developed three alternative ways of incorporating TTV into assignment methods. As far as I know these have not been taken forward in practical forecasting models. I am also not aware of further advances made in that respect so it may be worthwhile revisiting this work.

Pim Warffemius:

A long term strategy should be developed for the forecasting models that specifically addresses the functional requirements for modeling reliability. In particular, traveler behavior should be captured such that mode choice, departure time choice, and route choice are sensitive to reliability. On the other hand, a short term approach for evaluating the impacts of policies on reliability should also be adopted. This short term plan should be made within the context of what is achievable using the existing knowledge base. Start with identifying the set of policy

measures for which evaluations are or likely will be required and categorized them with respect to the types of impacts they have (see the table below). And, If possible, add the volume of their effects by expert guesses.

	Average travel time ↑	Average travel time ↓
Reliability of travel time ↑		
Reliability of travel time ↓		

Annex 5. Fragen an den Experten und Antworten der Experten in Email-Runde 2

Question 1: Given the context as sketched above, do you think that it will be possible to incorporate reliability of travel time in passenger transport and of transport time in freight transport in the German BVWP in the next 2-3 years?

John Bates:

I think this is ambitious, though I would not like to say it was impossible! Despite attempts in the UK and New Zealand, rather little has been achieved. Of the three types of information listed on the previous page, it is undoubtedly the first (supply-side) where progress is weakest, and effort will need to be directed to this. Types 2 and 3 may be considered together, since – in principle – we can read across between demand responses to reliability changes (however defined) and demand responses to cost changes. Even here, however, I retain some reservations (as expressed in my response to the first round questions).

Richard Batley:

Yes, for both passenger and freight, although I guess there is a question as to how much sophistication is feasible and sensible. Changes in reliability could, in principle, impact upon each stage of the 4-stage model, but it may be sensible to focus the research effort on some stages more than others. I am not confident that there is good data on the impact of reliability on distribution and mode split, but generation and assignment may prove more fruitful lines of development.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

Probably yes. “pragmatic additions” to the present model system can probably be made without jeopardising the model structure or its soundness.

Mogens Fosgerau:

Yes, I guess it is possible to do something within such a timeframe.

As I have indicated, theory does exist that justifies ways of doing this for the case of passenger transport. For freight the situation is a little more complicated, since freight shipments have both senders and receivers.

It should be possible to collect data that would allow the establishment of, say, volume-variance relationships that can be applied just like volume-delay relationships at the level of network links.

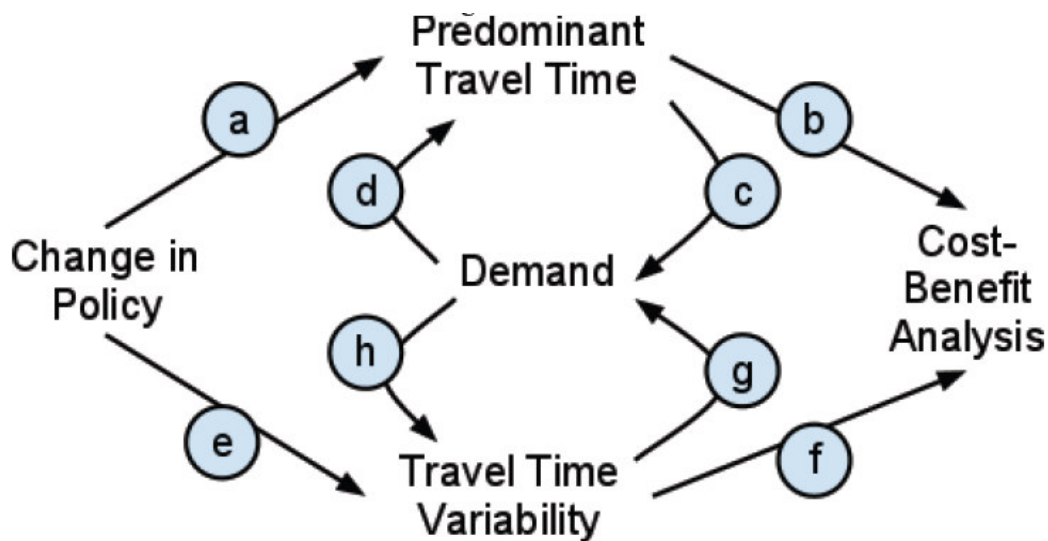
Anthony Fowkes:

YES. However that leads to various caveats, but I will answer your other questions then come back.

HAVING COME BACK. I see I answer most of your questions at 2. I think it is a simple straight-forward approach that can be managed. If you were to ask me about more complex alternatives to that I would naturally be more wary. If you want it in 2 years I suggest you follow my approach.

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

This depends on what the ambition is for level of incorporation of reliability. To fully incorporate it, one would need to establish all links shown in the figure below:



The first four links, (a) through (d), represent travel modeling and policy evaluation without travel

time reliability -- (a) and (b) represent the direct relationship assuming static demand, while (c) and (d) add dynamic demand in response to the policy change. Similarly, links (e) through (h) represent travel time variability. We go into more detail below, but briefly, we think it is quite possible to add travel time reliability in a static sense, with (e) and (f), but that it is probably too soon to incorporate demand responses to travel time reliability (g) and (h). Also, the longer-term feasibility of (g) and (h) are a bit different for roadways versus rail systems.

Justin Geistefeldt:

Due to the significance of travel time reliability for the assessment of transport infrastructure projects, I would regard the consideration of this aspect as a crucial issue for the next BVWP. It may be that some simplifications – particularly concerning the prediction of the travellers’ reactions to changes in reliability (which I don’t consider as important as the other two types of information) – will be inevitable due to the limited time, but I don’t see a reason why it shouldn’t be possible to develop a useful methodology within 2-3 years.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

We think it would be possible, but challenging. Also, the approach would have to be quite simplified, implying that one cannot estimate the benefits as precisely as one would ideally like to.

To a large extent, the feasibility of this goal depends on the available data related to travel time variability for different modes (in freight and passenger markets).

David Hensher:

Given the context as sketched above, do you think that it will be possible to incorporate reliability of travel time in passenger transport and of transport time in freight transport in the German BVWP in the next 2-3 years?

Hao Li:

If yes: Depending on how you incorporate the reliability and which measure you choose for reliability. If simply the standard deviation (variability) is taken, then it is possible in the next 2-3 years. By performing SP (or/and RP), the value of reliability is derived. The behavioural choices on modes and routes influenced by reliability and the influence of infrastructure on travel time reliability can be modelled in the assignment model. I suppose that the assignment model used is static. The total travel time variability experienced by all demand can be derived based on the assignment and thus can be included in the CBA with the pre-derived value of variability. If scheduling cost is chosen to represent the effect of travel time reliability on travellers' choices, it might be more complicated and difficult to do it in the next 2-3 years. Since modelling scheduling cost implies the importance of arriving on time, departure time choice then is involved. However as you clarified that departure time choice will not be modelled in current study.

Tim Lomax/ Rich Margriotta:

Reliability should be both an input to and an output from the travel demand forecasting (TDF) process. As an input, it should be considered as a factor in how users make travel choices. For example, it can be included as part of an impedance function for the trip distribution and assignment phases. It also could be included in the utility function for mode choice, or, basically anywhere that "typical" travel time is used as a predictor (independent) variable. Much research remains to be done on this topic, but I would direct you to the following SHRP 2 Research Projects:

- Project C04, *Improving Our Understanding of How Highway Congestion and Pricing Affect Travel Demand.*
- Project L04, *Incorporating Reliability Performance Measures in Operations and Planning Modeling Tools.*

I do not believe that this or other SHRP 2 reports have been officially released yet, but given your urgency, I think contact with Bill Hyman of the SHRP 2 staff would be helpful (whyman@nas.edu)

The easiest way to incorporate reliability as an input in the modelling process is to equilibrate it to typical travel time and use a single value for the travel time factor in the procedures ("travel time equivalents"). I am including at the end of this response a short guidance paper on this subject I recently put together for a project here in the U.S. ("Interim Procedure for Assessing Reliability with Planning Models").

Reliability should also be an output (a consequence) of the modelling process. That is, we should be able to predict it as a measure of performance. The way this has been handled with simulation models is to develop a limited set of scenarios defined by combinations of the factors that produce unreliability travel, for instance, high/low demand and several levels of incident severity (defined by duration and degree of blockage). Scenarios are used as a surrogate for full Monte Carlo-style

simulation of all possible combinations of factors as a way to make the analysis practical. The results of each scenario are weighted based on the expected frequency of occurrence. The scenario approach is also being pursued in SHRP 2 Project L04 as well as SHRP 2 Project L08 (*Incorporating Reliability into the Highway Capacity Manual*). Project L04's guidance is particularly germane, but it remains to be seen how its procedures can be implemented in the commercially available software. (I think it will happen, but that is several years away.) In the interim, the most practical way is to post-process TDF model output using simplified procedures, such as those included in the attached "Interim Procedure for Assessing Reliability with Planning Models".

Kai Nagel:

-

Henrik Swahn:

This will be hard, but possible with a strong and dedicated effort. First, there are the numerous methodological issues that your experts are now addressing. New data has to be collected based on new surveys of user values of a kind that is little explored (referring to freight) which means that survey design and try-out as well as the collection phase per se will take time. Possibly, traffic assignment models have to be reassessed and modified (see my comments to Fowkes). If reliability values would be estimated based on an SP-survey (which is very difficult – see my answer to round 1) the SP-study in any case must be very carefully designed. I also anticipate need to address some problems that need careful consideration as for the interpretation of users' reliability cost/value estimates in the CBA context, since the least social cost solution defines the relevant social cost. Obviously, the establishing of the connection between infrastructure link properties and the reliability measure is no easy task. Acting with too much haste and too little resources and quality control comes with a risk of discrediting the idea of including reliability for a longer time, which of course would be very unfortunate.

Lori Tavasszy:

Yes.

Peter Vovsha:

It is possible to incorporate reliability of travel time in passenger transport in the German BVWP in the next 2-3 years but it would require a certain restructuring and recalibrating of the model system. This can currently be implemented only with 2 simplest (out of 4 possible) measures of reliability – perceived travel time by congestion levels and STD. I describe these approaches below. It is unrealistic to build a model system that would incorporate such (advanced) measures of reliability as schedule delay or temporal utility profiles in such a short time frame. However, it is important to recognize these important avenues for future research.

Tom van Vuren:

To predict how infrastructure projects affect reliability the easiest modelling solution is linking this to standard model outputs, such as travel times. This may not be ideal from a realism perspective but it is pragmatic and will allow you to model reliability impacts. In the UK we tend to use the excess travel time, at link but preferably OD level.

I think it is possible to incorporate reliability in a simple way using my approach above which is basically what is recommended and used in WebTAG.

Question 2: How would you recommend that the monetary values for reliability are established so that they can be used in 2-3 years from now and onwards (if your answer to this question is the same as for question 4 in the first round, then please say so; but maybe for the German context your answer will be different).

John Bates:

I see nothing in the useful description of the German situation included in this email round to make me review my previous (first round) answer. If the Dutch work can be viewed positively, then it will make sense to build on this in the German context.

Richard Batley:

In the previous round, I recommended mean and standard deviation for passenger, and I would stand by this recommendation given your explanation of the German context.

I was less forthcoming about freight in the previous round. Given your explanation of the German context, I would think that valuation of percentage late (or chance of being late) may be instructive to some extent, but I wonder whether it gives a full enough insight to be entirely useful. Most modern distribution systems operate on the basis of a time window, such that the key considerations are the earliest and latest arrival times. One way forward, which combines all of the features just mentioned, would be to derive valuations in terms of the arrival time spread for the majority (say 95%) of deliveries.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

I think my preferred answer is as in question 4 in the first round; however, if a proper valuation study would not be feasible, I am sure you can “transfer” somehow, values from models estimated – say in Holland – and use them to advantage.

Mogens Fosgerau:

I see no difference for the German context. My main point is that a VoR can conveniently be integrated into a generalised travel cost expression . The variance is a convenient measure of the quantity of unreliability (see papers by Fosgerau & Engelson, Engelson & Fosgerau).

Anthony Fowkes:

This puts the cart before the horse, in that I do not believe you have decided in what form you would include reliability, and even then it might not be as I would do it. So, without you being clear as to what propose, I will just say what I would want to do, and how I would try to do it (distinguishing those two things).

Firstly, I would say it is lateness that is the problem – either resulting from an unforeseeable occurrence, or a planned occurrence that is not well publicised or not felt sufficiently large and well defined to be worth adjusting the schedule for.

The upshot is that you arrive late and face a penalty. The level of such penalties can be measured in surveys for less than 100,000 euro to an acceptable degree of accuracy. They principally vary by commodity and the tightness of turnaround times at loading and unloading points. Our report

(AECOM/ITS) for the GB Office of the Rail Regulator gives more details. Penalty levels will increase with lateness, but are generally capped.

We then need to predict the incidence of such lateness in both the base and forecast, plus the cost on freight movers of keeping lateness that low, eg by starting out earlier. If we were to ignore the latter point, our lateness incidence rate would be an overestimate. A good way would be to work with a “basket” of typical routes, and break the routes down into links, for each of which a speed/flow curve is held. If these routes were associated with (a mix of) movements having known lateness penalties, then the appropriate lateness cost will fall out automatically.

Lateness might be measured against free flow journey times (though alternatives are clearly possible). In that case we know the free flow times from the speed/flow curves. We then consider cases where: (a) there is other traffic; (b) there are other incidents that can be modelled as though it was additional traffic (PCU equivalent); or (c) other measures, such as road closures that require diversion. We do not model a typical day, but the top end, eg. the 6th decile, the 7th decile, the 8th decile, the 9th decile, the 95th percentile and the 98th percentile. Beyond that is Act of God, and beyond our control. For each we determine the distributions traffic levels (in PCUs?) from historic recording sites on similar roads. Account should be taken of everything a freight scheduler would, eg. day of week. That gives us PCUs at each decile. We add any PCU-equivalents as may have been identified, and then read off the link times from the speed/flow curves. These can then be adjusted for “incidents” if required. Lateness relative to free-flow time can then be obtained, and valued against the typical journey bank. Doing that before and after a “scheme” or “intervention” will show a lateness cost or gain from that. Preprojecting current traffic levels forward will give the extra lateness cost of not providing extra roadspace,

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

Our answer is the same as in round 1.

Justin Geistefeldt:

Again, I forward this question to the experts in transport economics.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

Given that one cannot model departure time choice, using parameters from a scheduling approach directly in monetary valuation of travel time variability is not an option. Hence, the measure of reliability must be some characteristic of the travel time distribution, for instance standard deviation, variance or a percentile. It is however desirable to conduct a study that comprise of SP surveys which allows different types approaches to travel time variability such that other measures can potentially be used in the future. We still recommend using SP methodology. This response is similar to our response to question 4 in the first round.

David Hensher:

How would you recommend that the monetary values for reliability are established so that they can be used in 2-3 years from now and onwards (if your answer to this question is the same as for question 4 in the first round, then please say so; but maybe for the German context your answer will be different).

Same

Hao Li:

It can be assumed that the ratio of value of reliability and value of travel time is constant. This ratio can be derived based on your coming SP/RP survey. If you know the value of travel time in the coming years (based on the way how they did in the past for the CBAs for the coming years with prediction of value of travel time), then it is possible to obtain the value of reliability that can be used in 2-3 years.

Tim Lomax/ Rich Margriotta:

This is a tough question. I think that European researchers are well ahead of American researchers on this subject. We recently did a meta-analysis of past studies to help us determine a value for reliability that could be implemented now. We found that most of the “better” studies showing a value for the Reliability Ratio for personal travel to be in the 0.9-1.2 range, so we arbitrarily picked a value of 1.0, implying that the value of reliability (VOR) is equal to the value of (typical) travel time (VOT). However, we at least intuitively know that different users will value reliability differently, just as they value typical travel time differently. Freight is obviously different, but SHRP 2 Project C04 has some interesting observations on the subject for personal travel.

The studies we reviewed were based entirely on stated preference and revealed preference surveys. However, in SHRP 2 Project L11, Evaluating Alternative Operations Strategies to Improve Travel Time Reliability, a radically different approach was taken: valuation of reliability was based on options theory. This approach is highly controversial at the moment.

In the end, it comes down to picking a number. Sensitivity analysis can be used as guidance, but personal judgment will be the final arbiter.

Kai Nagel:

-

Henrik Swahn:

HS See my answer to p4 in round 1.

Lori Tavasszy:

The VOR should account for any schedule delay costs for both shipper and carrier (there are two schedules involved, delivery and trip schedule). Unreliability at the carrier level could be valued using VOT (see 3)). Carriers will forward increased trip time reliability to the shipper as tariff reductions or as increased delivery reliability. From the shipper perspective one would need to establish whether remaining unreliability is an issue at all. If so, shippers' valuation needs to be taken into account as well. Otherwise, changes in carrier planning costs are propagated as tariff changes and only have to be valued as potential driver for additional indirect effects. I wonder how this is operationalised in the current freight model.

Peter Vovsha:

Below is my tabulation that relates to 4 main approaches to quantify travel time reliability and corresponding technical approaches both on the travel demand and network simulation side that I provided before. The first methods that can be implemented with the BVWP model are highlighted. The model will require certain enhancements including a time-of-day choice (trip departure time) sub-model.

Method	Demand model	Network simulation
Perceived highway time by congestion levels	Easy	Easy
Time distribution (mean-variance or buffer)	Easy	Difficult, first promising attempts
Schedule delay cost	Preferred arrival time?	Route choice? Generation of OD time distribution?
Temporal utility profiles for participation in activity	Entire-day schedule consolidation?	Route choice? Generation of OD time distribution?

An operational travel model should include a network simulation procedure that can generate the chosen reliability measures for different scenarios.

Tom van Vuren:

The reactions of travellers in mode and destination choice is well researched and I don't think causes major problems. In terms of route choice the Gordon et al paper gives some suggestions, which could be implemented in a German update to their models.

Question 3: The key issue now is including reliability in the German transport models that are being revised in the next 2-3 years

Question 3a: What do you think is the most appropriate measure of reliability that can be included in the German transport models that are being revised in the next 2-3 years?

John Bates:

As I have said many times, I think that we must stay with the standard deviation of travel time until a more appealing measure can be convincingly demonstrated. At least this represents a move in the right direction, and it is susceptible to empirical measurement.

Richard Batley:

For both passenger and freight, standard deviation of journey time would seem to be the most appropriate 'raw' measure, but in the case of freight it is important to relate this to delivery schedules.

A simple and pragmatic way of incorporating reliability, which resonates with existing features of the German models, would be to treat reliability as simply another attribute to include in the list of components of drivers' generalised costs. This approach allows one to stay within the

conventional equilibrium modelling framework (though some significant algorithmic challenges still arise).

Ideally, the representation of reliability within the model should be at the link level, and should be independent of link flow. This modelling representation is distinct from the value of reliability as perceived by the traveller; the latter is best conceptualised as a route-level disutility, arising from a linear combination of the marginal disutilities of mean (route) travel time, standard deviation of (route) travel time, as well as other sources of disutility.

Differences in valuations of, and responses to, reliability across the population should be represented by multiple user classes.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

I would again go for my answer to the previous round. If you press me for a short term answer to the German model, I guess the easiest measure of reliability to think about is something like the standard deviation of travel time.

Mogens Fosgerau:

The variance of travel time is a good bet, because it is additive across links (given independence) and independent of the shape of the distribution of travel time.

It will probably be difficult to obtain evidence that would force one to abandon this measure in favour of some other measure that better describes behaviour. That is because we have very little evidence of how behaviour reacts to changes in travel time variability. It is questionable whether SP data provide valid information regarding this. So while we may be forced to use SP data, we are not much restricted in the choice of theory and hence measure of reliability.

Anthony Fowkes:

Lateness probabilities, though these might be proxied by clever use of standard deviations of journey times.

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

Expanding our answers in round 1 a bit, which emphasized an empirical approach to choosing the

measure that best explains observed choices in an SP setting, in roadway settings we also suggest taking into account the empirical evidence with respect to observed variability in travel times on the transport system. It may be that a percentile-based measure is more stable in measuring variability, particularly with respect to outliers. Very long travel time observations are tricky because they might be very important information, or they might be a result of measurement errors. One option to consider is, for example, an asymmetric inter-quartile range (IQR), such as the distance between the median and the 90th percentile of observed travel times.

A similar approach using mass rather than distance would be to compute a modified “mean lateness” as described by Fosgerau & Karlström, where the lower bound of the integral is defined by the β and γ preference parameters from an SP study, and an upper bound set so that it includes the range of “meaningful data”. The choice of what is “meaningful” or not requires judgment both on what empirical data seems valid and on whether some rare events are so rare that they are of a fundamentally different character than the variability one is trying to incorporate. This latter option has the advantage of being compatible with the Fosgerau-Karlström approach to measuring the value of variability.

Justin Geistefeldt:

The answer to this question should be the first step of the research to be carried out within the next 2-3 years, including empirical verification of the proposed methodology. As already mentioned in the previous email round, I consider the application of the buffer time index as a promising approach, but there may be other useful parameters of traffic reliability as well. Concerning the required data and the prediction of future values of the chosen reliability measure, it might be possible to find relationships with existing parameters (like the volume/capacity ratio) which would help to quantify the reliability measure.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

A measure of travel time variability (travel time distribution) is most appropriate.

Travel time variability has already been incorporated at the mode choice level in the freight model. It is not clear what kind of data on travel time variability has been used in the estimation of the mode choice model. However one gets the impression that there is some data available on travel time variability at a network level for freight transport (both for rail and inland waterway and for road). Furthermore one can speculate that travel time variability at the link levels have been added up to get travel time variability at route levels.

In the future development of the freight and passenger demand models it is possible to include a measure of travel time variability at the mode choice level (for freight it is possible to replace the present measure of travel time variability with a more desirable one). However for the estimation of these models one need to have data on travel time variability at a network level for all the modes. For car and for modes that share right-of-way with car (bus and trucks) volume delay functions can capture travel time variability (in terms of variance, etc)

For scheduled dedicated modes (rail etc) the route choice algorithm would determine how the relation between volume on a link and travel time variability can be constructed.

This implies that there should be data on travel time variability (during rush hours and between hours) for different modes. Hence the desired measures of travel time variability can be included at the level of mode choice for both passenger and freight transport.

The current measure of reliability in the freight model is the probability of delay. To us this seems like a crude measure, but it could partly be justified because for businesses the consequences of delays might not be strongly related to the length of the delay. This can however be investigated in an SP study.

David Hensher:

The scheduling model is our preferred framework for reliability, which takes into account the consequences of unreliable travel time and is capable of addressing the different impacts of travel time variability with respect to arriving earlier and arriving later than the preferred arrival time, which is also linked with an important psychological perspective of decision making (i.e., reference dependent, see e.g., Prospect Theory). However, in reality, the mean-variance model, which assumes that travel time variability leads to the loss of utility by itself, is easy to be implemented in traditional 4-step transport models, in which the value of reliability (measured by the standard deviation in the utility function) can be treated as an additional component of VTTs, similar to crowding.

Hao Li:

As I said at the beginning, scheduling approach would be the most appropriate measure accounting for reliability and its impact on travellers’ mode and route choices. However, it comes to the answer to question (1) on the feasibility to do it in CBA in the next 2-3 years. See the answer to question (1).

Tim Lomax/ Rich Margriotta:

First, I think it is not only desirable but necessary to develop multiple reliability performance measures. Reporting reliability to nontechnical audiences will require one type and other measures will be required for technical analyses. For example, the reliability valuation studies have used different indicators of reliability; I’ve seen standard deviation, median, 80th percentile, and 90th percentile all used to some degree. You don’t want to preclude using future research that may use a reliability measure that is different than the one you picked.

The following table 1 shows the metrics that were chosen for the SHRP 2 L03 project, which Dr. Lomax and I conducted. A discussion of these measures follows.

- Planning Time Index and Buffer Index are starting to be used in practice, primarily for performance monitoring applications. A word of caution: SHRP 2 L03 found that the Buffer Index can be an unstable indicator of changes in reliability – it can move in a direction opposite to the mean and percentile-based measures. This is because it uses both the 95th percentile and the median or mean travel time, and the percent change in these values can be different from year to year. Although not specifically tested in L03, the Skew Statistic (as well as the “Width Statistic”, which was also developed by Van Lint and van Zuylen), may also suffer from this phenomenon.
- The 80th percentile travel time has not been widely used. However, SHRP 2 03 found that it can be more sensitive to operational changes than the 95th percentile and recommended its inclusion. Further, one of the more reliable past studies of reliability valuation used the difference between the 80th and 50th percentile travel times as the indicator of reliability.(1)
- The Misery Index, in its current definition, is close to the 97.5 percentile travel time index.
- Standard deviation was not part of the L03 set of measures, but it should be added because of its use in applications:
 - SHRP 2 Projects C04 and L04 use standard deviation as one of the terms in expanded utility functions that are used to predict traveler behavior
 - Several past studies of reliability valuation have used standard deviation as the measure that is valued.

Additional From Tim Lomax

We just published a report about corridor congestion. You can find that at:
<http://mobility.tamu.edu/corridors/>

Our intent is to do this each year and to explore the issue that Rich writes about here – the flagship measure. We incorporated several measures; the thing that comes through clearly is that the measure is a function of technical and communication purposes and of the available data. The value approach in the German application might benefit from an additional measure that illustrates the measure using a trip example so that lay audiences understand the findings. We also find that explaining the measure in familiar terms is important (e.g., the buffer index shows the amount of extra time “buffer” that travelers need to allow to be on time 19 times out of 20 trips. This simple message is why the 95th percentile was chosen.

Reliability Performance Measures, Expanded from SHRP 2 L03

Reliability Performance Metric	Definition
Planning Time Index	95 th percentile Travel Time Index (95th percentile travel time divided by the free flow travel time)
Buffer Index (BI)	The difference between the 95 th percentile travel time and the average travel time, normalized by the average travel time The difference between the 95 th percentile travel time and the median travel time, normalized by the median travel time
80 th Percentile Travel Time Index	80th percentile travel time divided by the free flow travel time
Skew Statistic	The ratio of (90 th percentile travel time minus the median) divided by (the median minus the 10 th percentile)
Misery Index (Modified)	The average of the highest five percent of travel times divided by the free flow travel time
Standard Deviation	Usual statistical definition
Failure/On-Time Measures	Percent of trips with travel times less than 1.1 * Median Travel Time and 1.25 * Median Travel Time Percent of trips with space mean speed less than 50 mph; 45 mph; and 30 mph
Supplemental Measures	Needed to complete the above calculations: <ul style="list-style-type: none"> • Free flow travel time • 10th, 50th, and 90th percentiles • Mean travel time

- Failure/On-Time measures are defined in two ways: (1) in reference to the median travel time (used to indicate “typical” conditions for a trip) and (2) in relation to pre-determined performance standards based on the space mean speed (SMS) of the trip.
 - Because their construction is binary (a trip either “passes” or “fails” the condition), these measures can be insensitive to small changes in underlying performance. Therefore, they have been defined with multiple thresholds so that changes in performance can be more easily detected.
 - The median-based measures are constructed as on-time measures while the SMS measures are constructed as failure measures.

So, what measure should be your “flagship” metric, the one that gets widely reported? I like the Planning Time Index because it’s stable and easy to explain. But it is clear that you must have other measures in the background.

(1) Small, K.A., C. Winston, and J. Yan. (2005) Uncovering the Distribution of Motorists' Preferences for Travel Time and Reliability, *Econometrica*, 73(4), 1367-1382.

Kai Nagel:

-

Henrik Swahn:

From the introductory text above I infer that it is anticipated that the current four step freight model basically will be retained. The question in this context is therefore how to include reliability in this model, which, I assume, was not done for the initial estimation. This leaves the model revision team with the choice of (1) making a new SP study that includes the reliability dimension and to estimate a (set of) new model(s) or to (2) introduce the reliability dimension as an additional exogenous (to the SP-study) variable whereupon the model is re-estimated. It is not clear to me if this could work or not. There may be other alternatives as well, such as converting the reliability variable to the same dimension as some existing model variables e.g. transport time or transport cost. But retaining the existing model while the new dimension of reliability is introduced seems to be a major challenge.

The question has different answers, depending on the interpretation of the expression "German transport models". It is quite likely that the reliability variable that is measured by surveying the users, e.g. the user's valuation of late/early arrivals for various time intervals as well as the frequency of shipment/quantities arriving with various time deviations are different from the variables that are useful in the (revised) transport models. Therefore one may anticipate that some conversion between the shipper relevant variable and the transport model variable will be necessary.

As noted before different measures of reliability may have to be introduced in the assignment model viz. the mode choice/transport chain choice model. For the assignment part the reliability either could be transformed to a GC-component or explicitly and separately dealt with by some additional model algorithm. For the other model steps the choice of variable depends on the model revision approach taken (see above)

Lori Tavasszy:

I would start with a pragmatic approach. From the carrier perspective a simple measure for unreliability is the buffer time included in the transport planning, needed to reach the delivery requirements of their clients (e.g. 95% on time). This buffer time is distance dependent and with some (strong) assumptions translates into a speed reduction. Hereby we assume that carriers adopt their planning aiming to maintain delivery reliability (and as such incur or save costs). Another step would be to describe propagation of remaining carrier unreliability into shippers' markets. The 'shipments on time' model I assume would have something to say about this. Depending on how this is operationalised additional research could be needed.

Peter Vovsha:

I suggest focusing on perceived highway time, standard deviation, and buffer time (80th or 90th percentile minus median) and resolving technical issues associated with incorporation of these measures in both demand models and network simulation procedures first. This is still a challenge with respect to network simulation procedures although some significant progress has been recently made (some of which I will be glad to present at the meeting if needed). In parallel,

more advanced methods and theories can be developed and tested (including schedule delay, temporal utility profiles, transformations of risk analysis, etc) but it will take time to bring these methods to the necessary level of technical maturity and support by the data.

Tom van Vuren:

I think the monetary values are well covered by your own work.

My preferred measure is sd at route level. We have calculated that in Birmingham using Trafficmaster GPS data. I expect this is also available for Germany, possibly from another source or provider. Until a specific source becomes available I expect reliability forecasts to be linked to modelled travel time estimates.

Question 3b: What kind of data would be needed to include this measure of reliability for a base year?

John Bates:

This is the easier part of the question! The increasing general availability of electronic speed and time measurements on different parts of the network can – with appropriate analysis – deliver reasonable measures of the standard deviation, and of the correlation between successive links in a network (to deal with the non-additivity of the standard deviation). It is important that non-random (ie predictable) variation be removed from such data – hence the caveat about “appropriate analysis”.

Richard Batley:

- Comprehensive trip matrices.
- Data on the travel time distribution for passenger and freight. Ideally, this would be for every link in the networks.
- Data on delivery schedules for freight, thereby enabling elicitation of earliness and lateness relative to those schedules.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

As in my previous answer, the best type of data is a combination of RP and SP, at least the former to allow customisation of the SP exercise.

Mogens Fosgerau:

Speed measurements on a number of road links can be used to derive volume-variance relationships. These can be adjusted to describe a number of different road types.

Anthony Fowkes:

I answered this in Q2

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

Aside from SP studies (which we wrote about in round 1), one would also need data to support link (e) in the figure above: observed travel times on a large number of roadway links, by time of day over a period of at least one month, along with traffic volumes and physical and contextual characteristics of these roadways.

If the ambition is also to incorporate (g) and (h), then new types of datasets would be required to estimate especially (g), with dynamic demand in response to variability. However, there is scarce experience elsewhere (Reitveld(1) has examined the effect of standard deviation on public transport route and mode choice; Brownstone and Small (2005) is relevant for the roadway side) on the effect of variability on demand in revealed preference settings.

(1) Rietveld et al 2001, Coping with unreliability in public transport chains, in Transportation Research Part A, doi: 10.1016/S0965-8564(00)00006-9.

Justin Geistefeldt:

See 3a.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

In order to estimate mode choice model (for Freight and passenger) that includes a measure(s) of travel time variability, there should be data available on travel time variability at a network level. Then it is possible to include travel time variability as a function of traffic volume and hence to get additional information on the link related to travel time variability. Assuming that travel time variability on the links on the route are additive (see Engelson, 2011) then one can get information on travel time variability for each o-d relation by different modes.

David Hensher:

The answer to this question has two parts; first the empirical valuation of reliability: SP is a preferred way especially for data collection (see Bates et al. 2001), and with careful design, an SP experiment can represent what happens in the real world. In reality, we often experience different travel times for repeated trips with the same origin and same destination (e.g., weekly commuting trips from home to work). Hence, a travel time distribution, rather than a single travel time, is associated with a same route with repeated experiences, and this time distribution is mainly shaped by day-to-day variations in travel time (i.e., travel time variability).

Given a departure time, the consequence of travel time variability is that a trip may end up arriving early, on time and late, and each scenario has its corresponding probability of occurrence. Therefore, to represent travel time variability in the SP experiment, we need to have a series of possible scenarios per alternative (e.g., departure time, route or mode) where each scenario has its level of travel time and associated probability (e.g., arriving early: travel time = 50 minutes, probability =20%; arriving on time: travel time = 60 minutes, probability =50%; arriving late: travel time = 65 minutes, probability =30%). At the Institute of Transport and Logistics Studies, we have used this format in our recent travel time variability projects (see the list below).

References :

Hensher, D.A., Rose, J.M. and Collins, A.T., (2011) Identifying Commuter Preferences for Existing Modes and a Proposed Metro in Sydney, Australia with special reference to Crowding, Public Transport-Planning and Operations, in press.

Hensher, D.A., Li. Z. and Rose, J. M. (In press) Accommodating Risk in the Valuation of Expected Travel Time Savings, Journal of Advanced Transportation, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/atr.160/full>

Hensher, D.A., Greene, W.H. and Li, Z. (2011) Embedding Risk Attitude and Decisions Weights in Non-linear Logit to accommodate Time Variability in the Value of Expected Travel Time Savings, *Transportation Research Part B*, accepted for publication.

Hensher, D.A. and Li, Z. (Forthcoming) Valuing travel time variability within a Rank-Dependent Utility framework and an investigation of unobserved taste heterogeneity, *Journal of Transport Economics and Policy*, accepted for publication.

Li, Z., Hensher, D.A. and Rose, J. M. (2010) Willingness to pay for travel time reliability in passenger transport: a review and some new empirical evidence, forthcoming in *Transportation Research Part E*, 41(1), 16-38.

Li, Z., Tirachini, A. and Hensher, D.A. (Forthcoming) Embedding risk attitudes in a scheduling model: Application to the study of commuting departure time, *Transportation Science*, accepted for publication.

Li, Z., Hensher, D.A. and Rose, J. M. (2011) Accommodating Perceptual Conditioning in the Valuation of Expected Travel Time Savings for Cars and Public Transport, *Thredbo 12: International Conference Series on Competition and Ownership in Land Passenger Transport*, Durban, South Africa, 15th September 2011, submitted to *Research in Transportation Economics*.

Second, we also need data that captures time variability in the real world, which requires repeated observations from a network over a period time (say two weeks). The collected information can be used to calculate the mean and standard deviation of an actual travel time distribution. By multiply the values of time and reliability with the actual levels of mean travel time and standard deviation, we can get the real willingness to pay.

Hao Li:

The data from the SP/RP survey to derive the value of the chosen reliability measure, which is needed in the behavioural utility function in the assignment model and finally the CBA. The other data on infrastructures, networks, demand, etc. I suppose you have them already. The only thing is that if new infrastructures are built in the next 2-3 years, then the data on the new infrastructure are needed.

Tim Lomax/ Rich Margriotta:

-

Kai Nagel:

What comes to my mind as quite central is that it needs to become clear what is meant by reliability. Some options:

- (i) The fluctuations from one (work)day to the next per link and point in time. I.e. given my departure time, the distribution of my arrival times over, say, a year.
- (ii) The fluctuations during one day. I.e. the distribution of my travel times when my departure time is random during a day.

For (ii), in my view one would need to interview commercial transport operators in order to find out if that plays a role or not. My intuition is that currently they do NOT use trip planners that include time-dependent congestion patterns. But they will probably argue that no matter what

they do, they will be caught in some congestion anyway. But then, as I wrote in my previous email, the problem is underestimation of the effects of level-of-service E.

We also have this in our project, i.e. to consider some kind of special correction factor for bottlenecks as long as the network loading models do not model physical queues.

Henrik Swahn:

a) As a minimum a shipper related database on the distribution of late/early arrivals for various types of shipments and products

b) Reliability measure (variance or std deviation of travel time) for all links of the infrastructure and possibly also empirical data of combined variance/std deviation for frequent routes (within one mode) and chains (including more than one mode as well as transshipment)

Lori Tavasszy:

Variations in travel times, synthesised to O/D level. From this, extract buffer times or speed reduction for planners. This should be validated with carrier surveys. In addition, shipper survey to assess how propagation takes place.

Peter Vovsha:

I suggest focusing on RP data that can be generated using GPS-assisted surveys. There is a great body of SP data and bulk of research showing the relationship between VOT and VOR in different countries and for different travel segments (travel purposes, income groups, etc). Thus, VOR can be successfully borrowed from the existing research for different measures of reliabilities. I suggest focusing on the model implementation. I should include collection of network data on travel time variability at the Origin-Destination (OD) level. This could be a basis for development of statistical dependencies between average travel time or congestion index and reliability (standard deviation or buffer time). The mode choice model can include a reliability measure along with average travel time and cost. Through mode choice log-sums this measure propagates to the trip distribution and trip generation stages. Estimation of all travel models with the OD generated reliability measure can be done based on a conventional RP survey of travel behavior.

Tom van Vuren:

See 3a.

Question 3c: How could one predict future values of this reliability measure?

John Bates:

This is much more difficult. Currently the only way forward is by finding useful correlation with other journey/link variates, and as far as I am aware, distance and some measure of volume/capacity (on the highway side) are the only ones which have been identified. For rail even less is known. This is where the greater part of the research effort needs to be directed if the prospect of including reliability in the next 2-3 years is to become reality.

Richard Batley:

I take this to mean the physical representation of reliability in the 4-stage model; the word 'value' is somewhat misleading in this context.

I think the key factors would include;

- Relating the measure of reliability to the sources and causes of unreliability; in particular, it would seem important to distinguish accidents and incidents from day-to-day variability.
- Relating the measure of reliability to changes in incomes, travel costs and travel distances (noting the potential for inter-relationships) over time.
- Relating the measure of reliability to link flow.

Juan de Dios Ortúzar Salas:

I am not sure ... for example is there in your literature review any information on variations of reliability due to changes in transport infrastructure, etc.? If there is nothing, I would honestly go for a scenario based method, where you make assumptions about the potential increase/decrease in reliability that maybe associated with changes not only in infrastructure, considering an increase (i.e. optimistic), a no change (neutral) and a decrease (pessimistic), if there are grounds to think that the three possibilities are indeed realistic.

Mogens Fosgerau:

This can be accomplished using volume-variance relationships.

Anthony Fowkes:

My proposal in Q2 just required you predict traffic and let the speed/flow curves give you lateness probabilities and values.

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

It is actually fairly straightforward to estimate relationships explaining the kinds of reliability measures we have discussed, as a function of roadway characteristics, mean travel time, time of day, demand, etc., in the same manner as for BPR curves of mean travel time from demand.

Justin Geistefeldt:

See 3a.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

Once the relation between volume and variability at the network level is established, the future variability can be predicted.

David Hensher:

Make it a function of the actual degree of trip time variability. I attach some material that may of value to you in a different context, but was work I did with Access Economics in 2005 on VTTS over time. I do believe this approach is valid for trip time reliability, especially if we work with value of expected travel time savings (as per Hensher et al. 2011 Transportation Research Part B).

Hao Li:

See my answer to question 2).

Tim Lomax/ Rich Margriotta:

For both (b) and (c), see the included paper for a discussion of simple methods for prediction using typical TDF model data. Eventually, I believe reliability will be modelled using the scenario approach, but that is several years away.

Kai Nagel:

-

Henrik Swahn:

Does “value” here refer to economic value or the variable value? Anyway, I have no ideas about this right now.

Lori Tavasszy:

Using a simple regression model of travel time (variations) against road capacity, traffic mix and external factors. Control for additivity from link to O/D level.

Peter Vovsha:

In the US, we pursue two main approaches. The first one is two link travel time variability measure to a general measure of congestion (for example, congestion index or average speed, or inverse of average speed) at the OD level. Then, results of a single conventional model run and traffic assignment can be used to generate reliability measures for future scenarios. These measures are included in travel models that are equilibrated with the network models. The second approach is based on a variation of travel demand (trip table) that includes a systematic component and random component. In this case, multiple assignments are implemented with different trip tables to produce travel time distribution for each OD pair. This way travel time reliability measures is generated explicitly.

Tom van Vuren:

See 3a.

Question 3d: How would could one predict the impact of infrastructure projects on this measure of reliability (in the context of the BVWP 2015)?

John Bates:

The answer to (c) will – in principle – provide the solution!

Richard Batley:

-

Juan de Dios Ortúzar Salas:

The only possibility I can think of would be to find out cases where reliability has been considered in models (i.e. in the US, England or Holland) and investigate if it was measured prior and after construction of the facility.

Mogens Fosgerau:

Changes in traffic volume or changes in road type would have an impact on travel time variance.

Anthony Fowkes:

I answered this in Q2

Joel Franklin/Maria Börjesson/Leonid Engelson/Jonas Eliasson/Anders Karlstrom:

The statistical relationships of the type discussed in part c. can be rather stable for existing facilities, but more uncertain for new or fundamentally altered facilities, although probably not more uncertain than BPR curves have always been. Quite simply, it is important to try to estimate statistical relationships that include variables of interest in the policy analysis, such as number of lanes, shoulder width, etc.

Justin Geistefeldt:

See 3a.

Askill Harkjerr Halse/Farideh Ramjerdi:

It is not specified whether the models can be segmented by time of day. If this is possible, travel time variability in road transport can be modeled using volume-delay functions. Most infrastructure projects are investments in capacity, and this will affect variability through the interaction between supply, demand and delays. Also when delays are caused by incidents, the effect of this on variability depends on the degree of congestion.

In the case of modes with dedicated lanes (rail, metro, tram), the picture is more complicated. However, the volume matters here as well. Essentially, the decision of a traveler to enter the traffic system affects the number of cars on the track, which again effects variability if the system is operating close to capacity. The number of passengers in each car also effects variability because boarding and unboarding takes more time when there are many passengers. When making travel decisions, the traveler takes into account the amount of variability in the traffic system. For these modes of travel, there are also other types of projects which will affect reliability without necessarily affecting capacity much, for instance improvements in the rolling stock and signaling equipment. We find it difficult to propose a general method for forecasting these changes. If one cannot segment between different times of day, we find it difficult to see how one could model unreliability since capacity utilization is likely to vary considerably between peak and off-peak hours.

David Hensher:

In a forecasting model, travel time variability should be treated as a component of the generalised cost, along with travel time and monetary costs. In economic evaluation, a resource value should be used to distinct from economic value, which involves an adjustment in indirect tax (that Gerard knows how to apply). Clearly there will need to be a network by time of day or at least some measure of travel time variability on links of interest in the road network. If there is also an interest in public transport then that network must also be updated to allow for travel time variability, even if it is time of day independent.

Hao Li:

I have already explained in the answer to question 1). The impacts of the infrastructure on the travel time reliability could be modelled by the assignment model (which you have), which modelled travellers' choice behaviours considering reliability as well.

Tim Lomax/ Rich Margriotta:

For now, analyzing improvement strategies with the simplified method presented here works the same way as for estimating changes in typical travel time: estimate the changes the strategy has on volume (demand) and physical capacity. This is relatively simple for projects that directly expand capacity, but more difficult for demand management and advanced operations strategies like variable speed limits. But right now, volume and capacity are the only “levers” available, so for operational strategies, capacity increase factors will have to be developed. Alternately, delay reduction factors can be applied to the total predicted delay (or Travel Time Index, as used in the included paper). As a starting point, the following table which I developed for use the Highway Economic Requirements System model (maintained by FHWA) may be of use. This is a bit dated (2+ years old now) – you can see that it references Vehicle Infrastructure Integration (VII) which has now morphed into “Connected Vehicle Applications”. You may have better values you can use from German or other European research.

Tim Lomax: Rich’s approach is a very good application of our existing data and knowledge. Extending this will require more information about the “whys?” that determine reliability – incidents, weather, demand changes, etc. – as well as the effect of the different programs and projects. Incorporating these components into a model is, as Rich alludes to, the next big step for the reliability research.

This approach should also recognize the importance of how the sections are defined (in general, longer sections appear more reliable), time period (longer time periods appear more reliable) and the types of reliability included in the measure (the reliability appears much better if you say something like “the traveller will know the day of the week, the weather, any special events or school/work holidays.” In addition, if the data is grouped into 5-minute period averages and then day-to-day variations are studied, the substantial variation from driver to driver can be eliminated – properly, I think. All of these issues should be considered in deciding the measure, the construction of the dataset and the components of “value.”

Operations Impact Relationships

ITS Component	IMPACT CATEGORY		
	Congestion/Delay	Event Characteristics	Safety
Arterial Management			
Signal Control	Standard HERS relationships		
VII-Enabled			-3.8% total signalized arterial crashes (1)
Electronic Roadway Monitoring	Supporting deployment for corridor signal control (2 highest levels) and Traveler Info		
EM Vehicle Signal Preemption			
VMS	-0.5% incident delay (2)		
Freeway Management			
Ramp Metering			

	IMPACT CATEGORY		
ITS Component	Congestion/Delay	Event Characteristics	Safety
Preset	New delay = ((1-0.13)(original delay)) + 0.16 hrs per 1000 VMT(3)		-3% number of injuries and PDO accidents ³
Traffic Actuated			
Electronic Roadway Monitoring	Supporting deployment for ramp metering and Traveler Info		
VMS	-0.5% incident delay (1)		

(1) VII BCA Report states 28% of 178,000 target signalized intersection crashes can be reduced; total traffic signal-related = 1,308,000 (NHTSA *Traffic Safety Facts*)

(2) IDAS value

(3) Based on analysis of data collected for Minneapolis Ramp Meter Evaluation

Kai Nagel:

-

Henrik Swahn:

See my discussion on the “mediation” issue in round 1 where the effects of infrastructure measures interact with measures and adaptations made by both carriers and shippers. The importance of this interaction is very well illustrated by the winter snow problems of the Swedish railways and the interaction between passenger and freight traffic on rail.

Lori Tavasszy:

See c.

Peter Vovsha:

In both methods described above, travel time reliability measures are generated through network simulations. This way they become sensitive to infrastructure improvements (for example building new roads or adding more lanes to the existing roads) as well as various policy measures like highway pricing or Managed Lanes (HOV, HOT).

Tom van Vuren:

See 3a.

Annex 6. Protokoll Expertentreffen 29.11.2011 in Berlin

Location: German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (BMVBS), Invalidenstrasse 44, Conference room K 1

Participants:

International experts:

Dr. John Bates (UK)

Prof. Tom van Vuren (UK)

Prof. John Polak (UK)

Paul Koster (NL)

Stefanie Peer (NL)

Dr. Pim Warffemius (NL)

Dr. Joel Franklin (Sweden)

Inge Vierth (Sweden)

Askill Halse (Norway)

Dr. Peter Vovsha (US)

Dr. Marco Kouwenhoven (NL)

Experts from Germany:

Prof. Kai Nagel, TU Berlin

Juergen Janssen, DB Netz

Dr. Kuchenbecker, DB Netz

Prof. Justin Geisefeldt, RU Bochum

Prof. Christoph Walther, PTV

Alexander Dahl, PTV

BMVBS:

Hugo Gratza

Dr. Hendrik Haßheider

Harald Kluge

Dr. Ulrich Westerkamp

Jana Monse

Claudia Oberheim

Andreas Matthes

Consultants team:

Dr. Michiel Bliemer

Prof. Gerard de Jong

Dr. Hedi Maurer

AGENDA:

- | | |
|--------------|--|
| 9.00-9.10 | Welcome, introduction round |
| 9.10-9.40 | Topic 1. Definition and measurement of reliability in passenger transport (road, rail) |
| 9.40-10.10: | Topic 2. Definition and measurement of reliability in freight transport (road, rail, inland waterways) |
| 10.10-11.10 | Topic 3. Incorporating reliability in passenger transport models |
| 11.10-11.30 | Break |
| 11.30-12.30 | Topic 4. Incorporating reliability in freight transport models |
| 12.30-13.15 | Lunch |
| 13.15- 14.00 | Topic 5. Valuation of reliability in freight transport (surveys, models) |
| 14.00-14.45 | Topic 6. Valuation of reliability in passenger transport (surveys, models) |
| 14.45-15.00 | Break |
| 15.00-15.30 | Topic 7. Incorporating reliability in cost-benefit analysis for passenger transport in Germany |
| 15.30-16.00 | Topic 8. Incorporating reliability in cost-benefit analysis for freight transport in Germany |

Reliability in transport in the assessment of federal infrastructure projects in Germany

Expert meeting 29 November 2011, Berlin

Significance, Goudappel Coffeng und NEA

Some background information

- Project for the German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development (**BMVBS**)
- Research question: **whether** and **how** reliability in
 - Road
 - rail and
 - inland waterways transportcould be integrated into cost-benefit analysis (**CBA**) of infrastructure projects in Germany
- Passenger and freight transport
- Focus on reliability of travel (transport) **time**
- There are **other** projects to update the transport models, the monetary values and the CBA methodology

Some background information

Three issues:

1. Derive a monetary value of reliability
2. How to incorporate reaction of infrastructure users to reliability in transport forecasting models
3. The impact of infrastructure projects on reliability

1: P-side 2+3: Q-side

1+2: demand 3: supply

Agenda

- 9.00-9.10 Welcome, introduction round
- 9.10-9.40 Topic 1. Definition and measurement of reliability, passenger transport
- 9.40-10.10: Topic 2. Definition and measurement of reliability, freight transport
- 10.10-11.10 Topic 3. Incorporation of reliability in passenger transport models
- 11.10-11.30 Break
- 11.30-12.30 Topic 4. Incorporating reliability in freight transport models
- 12.30-13.15 Lunch
- 13.15- 14.00 Topic 5. Valuation of reliability in freight transport
- 14.00-14.45 Topic 6. Valuation of reliability in passenger transport
- 14.45-15.00 Break
- 15.00-15.30 Topic 7. Incorporating reliability in CBA, passenger transport
- 15.30-16.00 Topic 8. Incorporating reliability in CBA, freight transport

Topics 1 and 2: definition and measurement of reliability

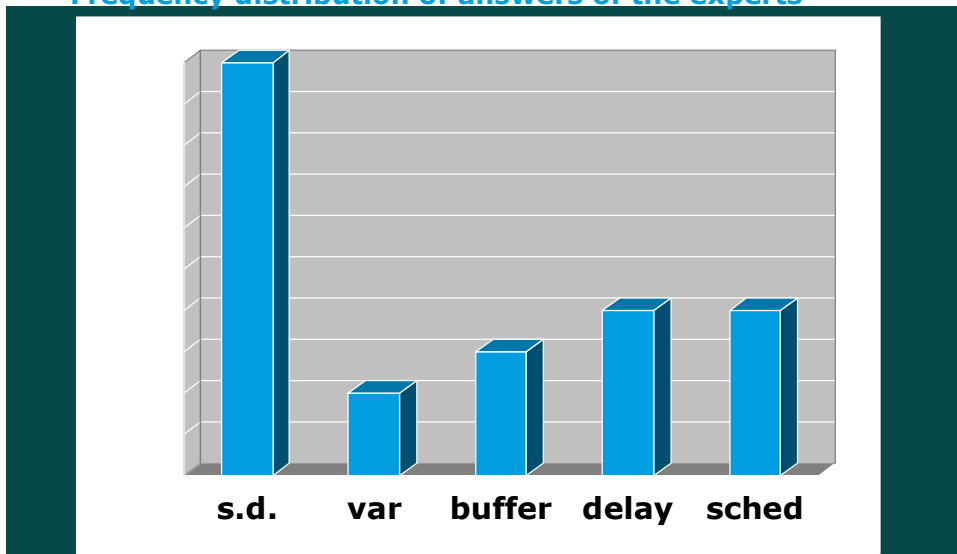
Operational definition of reliability

- For the moment we focus on **day-to-day** variability
 - Includes influence of weather, if possible also (road)works
 - Does not include effect of incidents (e.g. collision): discuss later today
 - Does not include effects of calamities (e.g. flooding): this is robustness

In general **two** main groups of commonly used definitions:

- A measure of **dispersion** of the travel time distribution:
 - Standard deviation
 - Variance
 - Range
 - Percentiles and derived measures such as buffer index
- **Schedule delay:**
 - Number of minutes earlier or later than preferred (departure, arrival)

**Most appropriate definition of reliability for use in CBA:
Frequency distribution of answers of the experts**



Arguments for and against standard deviation

For:	Against:
Indirect base in theory (non-scheduled modes)	(Does not capture asymmetrical costs of being early and late)
Can be empirically measured	Less generalised
Relatively easy to include in standard transport model	Dependent on other aspects of the travel time distribution
Does not require PATs	Not additive over links
Good fit to SP data	Does not pick up form of the tail and skewness
Can capture residual value (e.g. anxiety)	Sensitive to outliers
Natural way to summarise distribution	

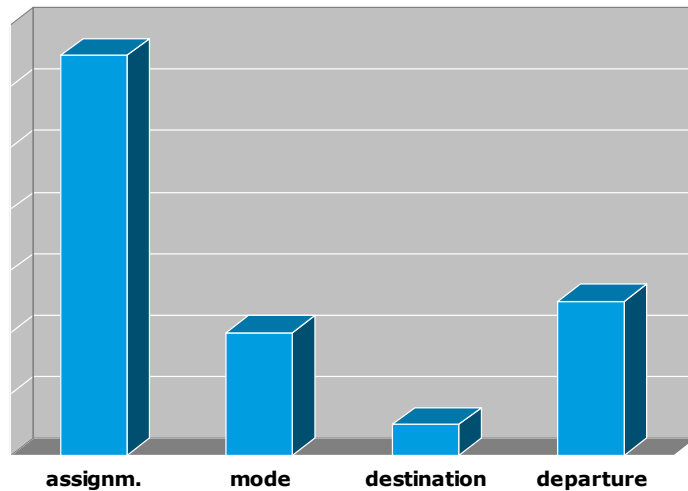
Specific issue in freight

In inland waterway transport the **water level** variation (e.g. of the Rhine) may be more important than the transport time variation:

- Waiting time variation at **locks**
- Water levels more than a few days from now are uncertain
- This influences which ships can be used and especially how **deep** they can be loaded (the maximum payload)
- Contracts and rates between senders and shipping companies are determined long in advance (e.g. half a year)
- **Question**: Is this already in CBA through the **price** of transport services?

Topics 3 and 4: incorporation of reliability in transport models

Including reliability in transport forecasting models : Frequency distribution of answers of the experts



Forecasting reliability: required model type

- **Models without queueing and spillback components**
 - Traditional static traffic assignment models
 - Bottleneck models with vertical queues
- **Models with explicit queueing and spillback components**
 - Quasi-dynamic traffic assignment models
 - Dynamic models
- **Question:** What are the model requirements to be able to provide realistic travel times and/or travel time reliability?

Forecasting reliability: analytical vs. simulation

Analytical approaches:

- Dispersion as function of traffic volume
- Dispersion as function of congestion
- Dispersion as function of travel time
- Dispersion as function of mean versus free-flow travel time

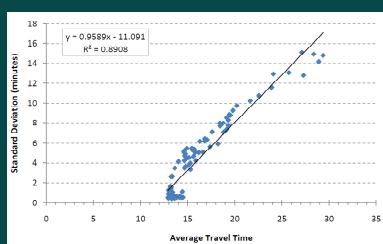
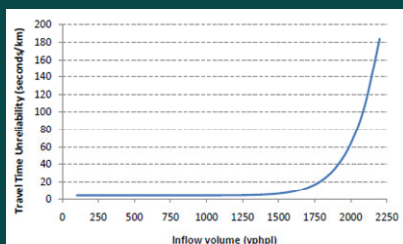
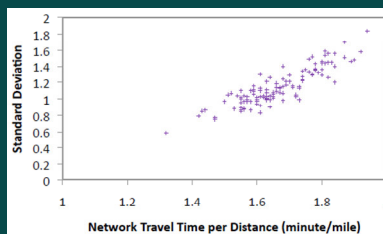
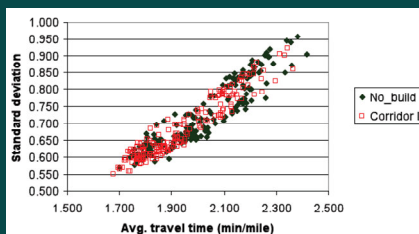
Stochastic (Monte Carlo) simulation

- **Question:** Is an analytic equation for dispersion sufficient or do we need a full Monte Carlo simulation?

significance

p. 13

Forecasting reliability: analytical approaches



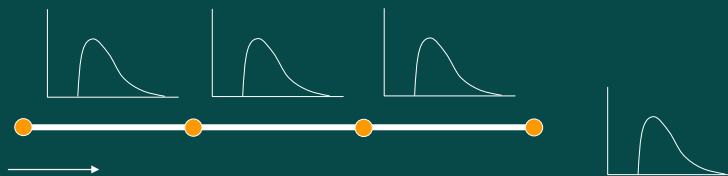
significance

p. 14

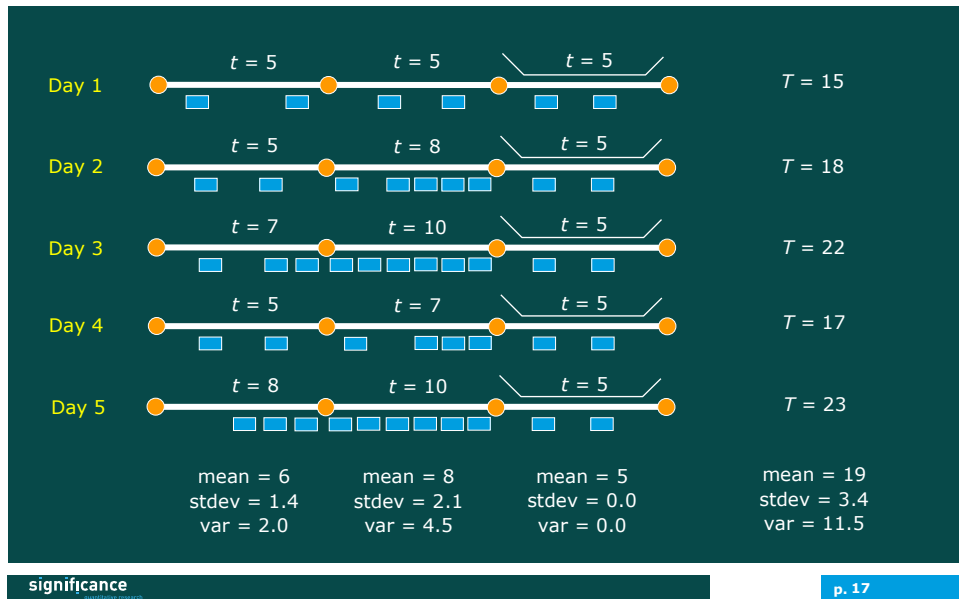
Forecasting reliability: policy measures

- **Some policy measures influence the travel times and the unreliability in opposite directions**
 - E.g., decreasing the motorway speed from 120 km/h to 80 km/h will increase travel time, but may decrease travel time unreliability
 - E.g., longer stops at train stations will lead to longer travel times, but to decreased travel time unreliabilities
- **Some impacts do not enter through capacity or travel time**
 - E.g., what is the effect of dynamic route information panels?
- **Question:** Should we categorise and score policy measures on their impact on reliability? Perhaps use rules of thumb?

Specific theme: route-based versus link-based reliability



Specific theme: route-based versus link-based reliability

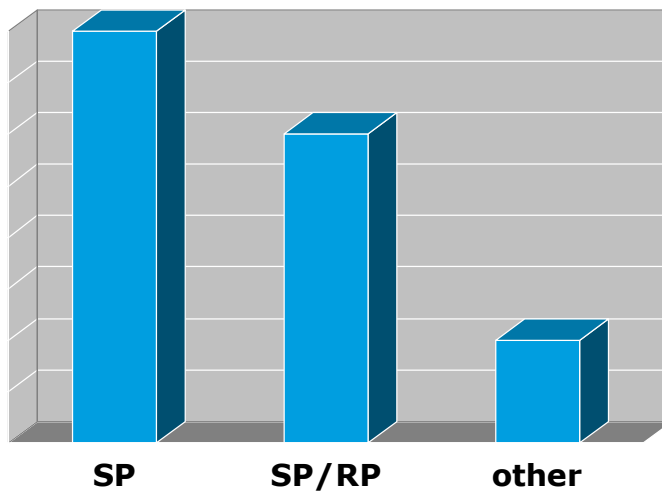


Solving link non-additivity: some options

- Use variance, assume links are independent
- Only work at route level
- Simulate travel time per link from distribution
- **Question:** What is the best approach to obtain a travel time unreliability measure on the route level?

Topics 5 and 6: valuation of reliability

How to find appropriate values of reliability: Frequency distribution of answers of the experts



Recommendations for demand model to derive values of reliability

Account for:

- biases, such as loss aversion
- observed and unobserved heterogeneity
- attitude towards risk
- non-linearities

Start with mean-dispersion model or add dispersion to scheduling model

Make choice context clear: choice **before or **during** trip?**

Specific issues for finding freight values of reliability

SP is more **difficult in freight (different decision makers, market competition, heterogeneity).**

Options:

- Make clear to shippers and carriers what they should include
- Interactive SP
- Start from analytical costs functions
- Try to include RP (routing options, bids by different carriers)

Topics 7 and 8: incorporation of reliability in CBA

Are delays due to roadworks included?
Can incidents and calamities be included in CBA?

partially expected /
announced

not expected /
not announced

regular,
every day

not regular,
not every day



**Are delays due to roadworks included?
Can incidents and calamities be included in CBA?**

	partially expected / announced	not expected / not announced	
regular, every day			
not regular, not every day		Calamity	

significance

p. 25

**Are delays due to roadworks included?
Can incidents and calamities be included in CBA?**

	partially expected / announced	Not expected / not announced	
regular, every day			
not regular, not every day			

significance

p. 26

1. Welcome

Monse welcomes all on behalf of the BMVBS and explains the background of the project

Presentation by de Jong (see PPT file, p. 1-4): objective of the meeting is to get clarity on the methods: what are the pros and cons

- Objective of the workshop is to obtain clarity on the methods (pros and cons), and not necessarily to achieve general agreement.
- How can reliability be incorporated on a federal level in CBA?
- In this workshop we do not aspire to get values for reliability.

2. Introduction round

3. Topic 1&2: definition and measurement of reliability in passenger and freight transport (road, rail, inland waterways)

Presentation by de Jong (PPT file, p. 5-8):

- Objective of the workshop is to obtain clarity on the methods (pros and cons), and not necessarily to achieve general agreement
- How can reliability be incorporated on a federal level in CBA?
- In this workshop we do not aspire to get values for reliability
- Focus on day-to-day variability, not yet robustness
- Standard deviation is recommended by largest group of experts, but not majority
- Lists the pros and cons of using the standard deviation

What do you think?

Bates:

- Why is Germany different from other countries?
- It is the expected schedule delay (comprising early and late) that is correlated to the standard deviation.
- Controversy exists on the definition of what variability is, what is included, what is excluded (accidents, road works, etc.); He thinks road works should be excluded.
- I prefer to work with a behavioural model like scheduling model, but this has all sorts of complications. Therefore, use of the standard deviation is a safer choice.

de Jong:

- Germany not really different. No departure time model, just a four-step model.

van Vuren:

- standard deviation (stdev) is simple, easier to forecast and link to empirical measurement. Definition of what to include/exclude is important.

Polak:

- The fundamental quantity of interest is the statistical distribution of travel times. Schedule delay / stdev are not alternatives: they are both consequences.

But which combination is the best description? If you do not have a departure time choice model, then you cannot use scheduling terms.

Halse:

- Variance has most advantages of stdev, but has additivity as extra advantage.

Koster:

- I am in favour of scheduling models, because they describe the real behaviour. Total scheduling costs are related to mean travel time, therefore can be simplified: derive relation between expected scheduling costs and mean travel time. You only need cost of variability.

Peer:

- Look at expectations: commuters have a lot of knowledge about weekday / weather specific conditions. Take into account information / expectations of travellers.

Warffemius:

- for practical reasons, stdev is best measure at this moment. Look at travel time distribution (by collecting the necessary data) before / after infrastructure change. Stdev can be measured. PAT of people is not known.

Kouwenhoven:

- Be clear about the exact definitions regarding the time aspects of journeys (which time to include, which route length to include, what is meant by day-to-day variability) and regarding the parts of the journey which are considered when estimating the impact of infrastructure measures on reliability (door-to-door travel, purely travel time on motorways).

Walther;

- stdev is practical and can be good to forecast,ed practical, relatively easy to measure and easy to implement in the German models. Pragmatic choice.

Vovsha:

- Reliability is one of the hottest topics in US (political flavour). Federal government sponsored research for 200 mln US\$. Distinguish user-centric measures, operational measures.

When you evaluate highways, distinguish random and systematic variations. Systematic is e.g. weekday variations. Mondays are different from Fridays. Therefore, not just include day-to-day variability. We do include accidents. Accidents are an integral part of transport and a major source of random variations. The inclusion of accidents has an impact on incident

management. There is a discussion on timescale: same hour, half an hour, 15 minutes? 20 measures were tested. It was difficult to distinguish which one performed better in a RP context. There is a bit of an advantage of variance over stdev for non-linearities. Buffer indices are more related to behaviour and have some advantages as well. Buffer measures are more popular in the US.

- Real operation model: the weakest link is the traffic simulation model. It is straightforward to include some variability variable in standard mode-choice etc. models.

- Some say: variance is better than stdev because of additivity. This is only true if travel times on consecutive links are non-correlated. But travel times are heavily correlated because the traffic flow and demand are correlated.

Vierth:

- Stdev is better for CBA. In Sweden there are mainly problems with intra-urban rail. 20% of trains cause 80% of the delays. When freight demand dropped due to the economic recession, the delays did not drop. This needs to be analysed further.

Franklin:

- Use empirical evidence: follow the empirical evidence, try different measures and see which measure fits the travellers preferences best. Keep open mind.. Stdev always need to be combined with more than mean travel time only. Stdev always has to be translated from the stated choice situation to a policy situation. Stdev does not deal with asymmetries.

Wurm:

- I prefer stdev: good and pragmatic. Good for forecasting. Fits SP data.

Janssen:

- Agree with Wurm. DB uses a model for deviations from the timetable. Stdev suitable especially for freight transport.

Geistefeldt:

- Another disadvantage of the stdev is that it is not directly perceived by travellers. They do not understand stdev (e.g what does 10 min stdev mean?). Buffer measures are better in this respect.

- Most important thing to be done for the Masterplan 2015 is to incorporate travel time variability in infrastructure project assessments. Improving the models is only important after 2015. That may have an impact on the type of variables that you want to study at this moment.

Nagel:

- Differentiate between whether you have a fixed arrival time (opera, catch a flight) or a flexible arrival time (also depends on the trip purpose). Dispersion is a possibility, as a parameterisation (proxy) of a scheduling model.

- The issue on the transport models is to which degree they should be improved now while doing something more advanced in say 10 years.

Summary: majority agrees on SD/variance; there is a different modelling suite in Germany, the approach has to take account of this.

4. Topic 3. Incorporating reliability in passenger transport models

Introduction Bliemer (PPT file: p. 10-11): this aspect of reliability is the least investigated.

4.1 What is the best way to include reliability in the transport model?

Walther:

- In the next German master plan, we plan to incorporate reliability in the mode choice model. This is the base for CBA. The forecasting scenario is for 2030. This will be the first step in longer process, but focus now on this.

Vovsha:

- Also has good experience with including variability in mode-choice model and hence via logsum in other models (e.g. destination choice)

Two constructive methods are: single / multiple run approach

single run approach: single assignment: include an empirical relation between variability and other parameters;

second approach: explicitly measure/simulate variability by making more runs (random conditions).

Vierth:

- In freight transport we do not include variability yet. Would favour to use information on buffer stocks as basis.(Sweden).

Franklin:

- We have no experience yet. How does demand react to changes in variability?

Wurm:

- This is possible for freight, more difficult for passengers: multiple routes are possible.

Janssen:

- The best way is to include reliability in mode-choice and route-choice.

Nagel

- The basis need to be repeated runs of realistic model (understanding the traffic flows). Parameterise this in a relation that can be added to a static model (for the short run).

Bates:

- Reliability is not included in mode choice in the UK. Do you want to include reliability in route-choice? Not yet really possible. Correlation between stdev and amount of congestion (for the whole path), correlations are not very strong. Aim to improve this in the future.

Van Vuren:

- You have to think about route-based assignment methods for the future (complicated)

Polak:

- You introduce more modelling error by including a parameterisation of a unobserved parameter by other parameters (danger of propagation of errors). Use the short-cuts for pragmatic reasons, but they come at a cost.

Koster:

- Consider the various actors in the models. The operator anticipates in his time table on variability (train, bus, airlines).

Peer:

- An empirical relation between cost and variability (by trip length, mode etc.) could be a simple way to start

Warffemius:

- Behaviour should be captured in the model (long term). Measures should be categorized by their impact on variability. Short term: determine relation between policy and mean travel times / variability.

Kouwenhoven:

- More research is needed on the relation between policy measure and model variables. In the Netherlands research has been done on this but not yet a clear relation has been found. This needs to be known before it is integrated in a model.

4.2 What are the model requirements to be able to provide realistic travel times and / or travel time reliability?

Presentation by Bliemer (PPT file, p. 12).

Bates:

- I have experience only from analysing motorways. Other roads may be different. Motorways have limited number of points of entries/exit, high velocities and are susceptible to breakdown. If you do not have a dynamic profile of demand, you cannot get good predictions. Breakdowns at the beginning or the end of the peak have a very different effect. Breakdown can occur at low traffic volumes, and at high traffic volumes breakdown does not occur in 100% of cases.

Nagel:

- A time-dependent model is necessary. The German model is time-dependent (though static assignment) so that is ok.

- In an application in South Africa, a physical queue model seemed to work.

Warffemius / Kouwenhoven:

- In The Netherlands we developed a post-processing module for predicting reliability.

Koster:

- The bottleneck model explains why Mean / stdev are very much related.

Vovsha

- Microsimulation is the future. But number of traffic zones, links, vehicles exceed what is feasible for realistic model run times

Warffemius

- Not only post-processing model, but also a Monte Carlo simulation model was developed (SMARA) which simulated the travel time distributions.

Polak:

- Dynamic models are essential. What are the nature and the sources of variation? Categorise: demand-related and performance-related.
- Demand pattern variation might have systematic and random components.
- Network performance has time-of-day variations (traffic light plans) and random variations (accidents etc.)

4.3 Analytical equation or simulation for predicting reliability?

Presentation by Bliemer (PPT file, p.13-14):

- Is an analytical equation for dispersion sufficient or do we need a full Monte Carlo simulation?

Vovsha

- We distinguish three different sources of variations, demand fluctuations, capacity/network (rain etc.), pricing (that can only be analysed in a equilibrium stage)
- Analytical: you need complex functions since the data is not so smooth. Inverse of speed seems to work. Some measures are more suitable for links, others for O/D, but both is needed.
- But I believe in a combination of analytical equation and simulation.

Van Vuren:

- So far the focus on roads. Rail is different.

Janssen:

- When I have the choice, I prefer stochastic (easier to analyse). For German situation, a complete stochastic approach is not possible, so combination is necessary.

Warffemius:

- Analytical approaches always seem to be linear (stdev vs. trav.time) . However, it does not have to be. From a policy viewpoint, not always linear relation. Some policy measures may have reverse relation: e.g. speed limits: increase of travel time, but decrease of variation.

Bates:

- For Monte Carlo simulation, one needs to specify at which levels it is done. You do not always need to go to the level of microsimulation, e.g. a 5-min. time resolution might also work

Vovsha:

- Stochastic is not the right word. Football matches are not stochastic (but also not systematic)

Franklin:

- A mixture is always necessary: there are always more sources of variations than can be included in the simulations.

4.4 Should we categorise and score policy measures on their impact on reliability? Perhaps use rules of thumb?

Presentation Bliemer (PPT g file, p.15).

Van Vuren:

- Measures change fundamentally the performance of the infrastructure. These examples fundamentally change the speed-flow curves, so that is how they need to be implemented in the model

Nagel:

- I agree. By lowering the speed it becomes a different road category (different dispersion in function).

Polak:

- ... provided that empirical relations are estimated for those conditions

Kouwenhoven:

- We have estimated empirically the relations between policies and reliability, e.g. a decrease in speed on motorways led to a smoother transport.
- This is difficult to estimate. Different distance categories have different outcomes. Different reliability indicators have different outcomes for the effect of the same policy measure

Vovsha:

- These are tricky policies that standard models cannot cope with: look at the behavioural impacts.

They should if possible be included in the basic model instead of some ad hoc model. In the US we have one single standard approach on a federal level, not different models, but more segments (e.g. different users).

Conclusion Bliemer:

- This approach (categorisation of policies, rules of thumb) is not recommended.

Bates:

- Supply-side effects are most important. If there are policies that have inverse effects on travel time / variability than you cannot use simple linear relations. Are there sufficient types of policies that have these inverse effects?

Warffemius:

- In The Netherlands we find it important to categorise the policies in terms of expected impacts.

Bliemer:

- The German Federal Infrastructure plan is about adding infrastructure, so in this context this is less important.

4.5 Route-based vs. linked-based reliability

Presentation Bliemer (PPT file, p. 16-18).

Polak:

- There are simplifying assumptions that are less grief. Links to routes is a genuine challenge.

Bates:

- For the moment, we can only offer a half-satisfactory solution: work at example cases that do it properly and approximate it for more general cases / relations.

Vovsha:

- Complicated computation: no simple solution. You should not assume independency across links. - Analyse route-level measures but not for a single simulation. Use multiple simulations to get distributions.

Kouwenhoven:

- It is difficult to establish empirical relations if you look at route-level: at this level, the impacts of measures that are link-specific are hardly noticeable. The impacts of most policy measures are very local, not on a route level.

Nagel:

- Look in particular at a long-distance case (e.g. Germany - Netherlands) with three bottlenecks. What happens if you remove one, two or three bottlenecks?

5. Topic 4. Incorporating reliability in freight transport models

Vierth:

- Which policy measures should be included? In Sweden, we are interested also in combining trains, or cancelling trains under extreme weather conditions (in the winter).

Monse:

- In the German Federal infrastructure Plan, we are interested in infrastructure measures.

Cancelling trains is not a systematic policy that we want to look at. It's about new connections, additional lanes, giving the shoulder free to increase capacity.

Vierth:

- An idea for modelling/valuing reliability is to look at buffer stocks. If decision-makers in freight think the transport system is not reliable, they have to increase stocks. That provides a way to value reliability.

Halse:

- Terminals are important. Goods can be a long time in terminals, but it can also be the other way around: small delays may cause missed connections at terminals and cause long delays.

- Another question is: how do you ask SP questions in order to measure benefits?

- And how to deal with different actors for the same shipment in freight?. Carriers insure shippers for delays by adding buffers. Infrastructure improvements might not have a clear impact: shippers may not notice.

Bates:

- What does Just-In-Time (JIT) mean in practice in terms of arrival times? Does it mean a component must arrive at 9:30, or it is needed somewhere between 9 and 10. This has a different impact on the transport system.

- What kind of time windows are involved in JIT?

Maurer:

- This depends on the mode and the type of commodity. Inland waterways time windows are much longer (e.g. "morning", "afternoon"), other modes can have much tighter windows.

Polak:

- For retail: retailers can specify windows at 10 / 15 minute level. Therefore freight modelling is more complicated, because of the logistic chains involved, because we do not have a lot of data on this, and because of the difference between commodities. Freight modelling needs a lot of simplification, more than you ideally would want. Just make sure that there are plans for the future to improve on this (both on data and on model specification side).

de Jong:

- Is scheduling the way-to-go for freight? Or can dispersion measures be used?

Van Vuren:

- In our surveys, we try to understand passengers. But I know nothing about what is in a truck. Trying to build something more complicated than we do in passengers cannot be done in freight due to a lack of data (on a regional or national level).

de Jong:

- No national/regional freight model exists with departure time choice. This is because of lack of data

Walther:

- Several transport chains use one or more transshipment points. Maybe you can get information about reliability about the legs of the chain.

- What are the types of logistics at the point of departure / arrival? Little is known on this.
- A train can be a moving storage facility. Just-in-time in those cases means "not before".
- Information on commodities is also useful

de Jong:

- What kind of data do we need most?

Polak:

- Shipment data and on progression of shipments through the logistics chain, such as the French ECHO survey. Without that it is very difficult to model freight at the right level. But many companies do not disclose this information.
- A procedure needs to be developed with the companies for collecting data: they need to be convinced on the benefits of such a dataset.

Vierth:

you should have data on what happens when incidents occur.

de Jong:

- The ECHO survey has data on the level of shipments, but also follows a shipment (information from both carriers and shippers). It has fewer shipments, but more information per shipment than the Swedish or Norwegian Commodity Flow Surveys.

Vovsha:

- Nobody offered to develop a freight transport model for New York for 2 mln US\$.
- In passenger transport, a lot of data is around (household interviews, on-board surveys, road-side interviews, traffic counts). In freight, nothing of that kind is available. Therefore, you cannot build good freight models. Current freight models are just surrogates. First, good data needs to be collected.

de Jong:

- The German model contains "probability of being late" as a component in the mode-choice model. This was estimated on SP data. Various experts asked: how do you use this in forecasting?

Nagel:

- So far, this has not been done at all. The idea is to collect SP data, so that models can be estimated in the future.

Monse:

- Nobody here knows in detail how the current freight model works. Applications of this variable are scenario-based: e.g. 95% of the trains are assumed to be on-time

de Jong:

- It is possible to combine an ECHO-type of data collections with SP. But this asks quite a lot from the shippers and carriers.

Nagel:

- The passenger VOT for German CBA is something like 4 EUR/hour. For commercial use/freight: something like 23 EUR/hour. You should not add reliability to passengers without doing anything on the freight side.

[Lunch break]

6. Topic 5&6. Valuation of reliability in freight and passenger transport (surveys, models)

6.1 Specific issues in inland waterways transport

Presentation Maurer (PPT file, p.9):

- We also did interviews on the perception of reliability, especially in the freight sector.
- Inlands waterways
 - Distinguish contracts and spot market
 - Decision-makers think important factors are:
 - punctuality: can I deliver on the agreed time?
 - reliability of available supply capacity (e.g. water levels, no blockages)
 - the maximum ship load depends on water depth in a non-linear way

de Jong:

- Water levels in the Rhine vary a lot, known a few days ahead, but contracts are negotiated long time in advance (half a year). Is this uncertainty already in the price of the transport services?

Geistefeldt:

- To which extent could this influence the investments under the German Masterplan? Not, since you cannot build a new Rhine.
- Accident management is not included in the masterplan.
- This would only be relevant if it would lead to a shift to rail and hence, increased rail investments.

Oberheim:

- We have a number of infra measurements to improve reliability for inland waterways: measures to make the water levels more constant. This should be included in the CBA.
- This is not about extreme incidents, but about day-today variations.

- Shippers take into account buffers to prevent having to take load off the ship.
- This is not so much about mode shift, but about measures to make waterways transport more reliable.

Nagel:

- If you improve the reliability, you will use different ships. This is included in the pricing.

Koster:

- Olaf Jonkeren at the VU university in Amsterdam did his PhD on this: inland waterway transport is a highly competitive market, with low profits, so the effects of water level variations are included in the price.
- If you make water levels more constant, the customer will pay lower prices. So this is a benefit.

Maurer:

- There is indeed a low-water surcharge. So, it damages the customers (shippers).

Halse:

- I confirm this.

Bates:

- The conclusion thus is: you do not need a reliability term in your CBA. But you need a model how reliability impacts the price.

Warffemius:

- If you look at pricing, you should be aware of distributional effects. This might result in double-counting. Be aware of this.

Koster:

- Jonkeren looked at the (long-term) relation between water level and price (not so much the relation with day-to-day variation).

6.2 Valuation in passenger transport: data

Presentation de Jong (PPT file, p. 20):

- Almost all experts recommend SP or SP/RP. Alternative ways to determine valuation: experimental economics (like done in risk economics), or use step back to focus surveys and qualitative surveys

van Vuren:

- If you cannot model it, you cannot forecast it, so it is not useful.

Vovsha:

- In the US people are more sceptical of SPs (outcome depends on the SP design and, people don't always do what they say), therefore I favour combination SP/RP. SP results depend on how you design it. Advantage of SP is controlled environment. RP: challenge is to produce travel times of alternatives (you need a model for that)

Polak:

- Both SPs and RPs are seriously compromised when dealing with reliability. SP: how is the presented distribution perceived? RP: we do not observe the experience on the travel time distributions (of the alternatives). I am not convinced that RP and SP combination really solves these problems.
- Second point: classical experimental economics is dealing with testing theories, not with valuation. But lessons can be learned from the experimental economic methodologies / protocols.

Bates:

- We would not do any SP if all could be done with RP.

de Jong:

- ITS Leeds analysed RP data on rail ticket sales: a small SP data set gave better results than extensive RP dataset.

Peer:

- From the peak-avoidance ("Spitsmijden") project in The Netherlands, large RP datasets are available. Sp one can try different perceived distributions and see which one fits the data best. There are a lot of things going on in SPs that you do not take into account. In RP you can at least test for this. This is a main advantage of RP data. In this project also a valuation was derived from RP data.

Polak:

- There needs to be a bit more daring approach by the community in using RP data to get valuations. It is difficult, but can be done. SPs are seriously compromised. There should be more attempts to use RP. Examples: route choice in London underground network (access to Oyster data to get historic data, access to performance data). Or other dataset: two crossings over bridge, one tolled, one not-tolled.

Koster:

- In SPs: make more explicit in publications what you have been measuring. How was it designed/presented?
- Second remark: everybody uses his own SP layout. No large systematic study on the effect of presentation of variable travel times is available. There is one example: a colleague (Tseng) used focus groups, but there should be a large study (new PhD?)

6.3 Valuation in passenger transport: modelling

Presentation de Jong (PPT file, p.21).

Franklin:

- Theory says that you can do scheduling

SP and transform to mean-dispersion model. But this was tested and did not work. This was probably due to the presentation of the choice situation. It is very important to explain to a respondent that a delay of e.g. 10 minutes cannot be accounted for. For instance you cannot

change your departure time anymore to avoid this delay (re-schedule your activities in your mind),. The uncertainty of being late is not the same as actually being late.

Halse:

- You need to make clear in SPs what you can change and what you cannot change.

Peer:

- Compare long-term decisions / information on routine choices with schedule. Long term decisions are based on averages. In the short term, we take day-specific circumstances into account. Sometimes this is confounded with long-term (more expensive) routine choices.

Nagel:

- Something that did not work: every tenth occurrence a delay greater than 10 minutes. "Greater than 10 minutes" could not be modelled.

Halse:

- Modelling attribute non-attendance is missing from the slide. This seems to be crucial in SPs. Especially in freight, where you have a lot of heterogeneity.

Conclusion de Jong:

It is important to get the same definition of reliability in valuation and modelling. Make the same assumptions on e.g. which characteristics can change due to variability, which decisions can be made. Be consistent.

6.4 Valuation in freight transport (data and modelling)

Presentation de Jong (PPT file, p.22).

Bates:

- The points on the slide are easier to understand for Value of Time, than for Value of Reliability. What happens if the price already contains some provision for lateness penalties? Do you know this in a RP situation?

- We have not sufficiently investigated the impact of travel time variability on freight. What are the consequences of Just-in-time deliveries? What is the size of the delivery time windows? If they are too long (say half a day), there is hardly any effect of variability. What are the consequences of being late? There might be built in buffer times in the schedule

- If you take this into account, the impact of variability in freight is not so high.

de Jong:

- More research needs to be done on buffer time, especially on how to get data on it.

Bates:

- Agreed, this also needs to be done in passenger transport.

Polak:

- The freight market is more complex than passenger market. In retail deliveries, the "classical" scheduling model seems to work. In other contexts, this is not the case.(e.g. only the delays at transfer points are really important). Some segments are easier to understand. Look at segments in which the classical contexts work (e.g. urban freight). More progress can be made there.

Vierth:

- In Sweden we are having a closer look at the contracts between the actors to see who is paying for lateness. We know very little about the windows and what happens if somebody is late.

de Jong:

- Tony Fowkes (UK) suggested looking at the penalties that need to be paid if a transport is late. Lori Tavassazy (NL) has argued that buffers are so large, that hardly any penalties are being paid in practice.

- In other commodities, there is a large stock both at the sender and receiver side. In those cases variability is not such a big issue.

- Buffers should be investigated more.

- A big problem is being late, but Henrik Swahn (Sweden) said being early is also a problem. If the receiving party is not open, you can better depart a little later to avoid driver / vehicle having to wait until the receiving party is open.

7. Topic 7&8. Incorporating reliability in cost-benefit analysis for passenger and freight transport in Germany

Presentation de Jong (PPT file, p. 23-26):

- Have we included the influence on reliability of the weather, works (such as road works) and accidents? Can we? Should we?

Vovsha:

- In the US, we distinguish recurrent and random variation. We do include accidents in variability, that was recognised by focus groups.

- We do include road works as well, since users do not know them in advance (thought the authorities as well)

- We do include extreme weather conditions, but not plane crashes, earthquakes and such.

Van Vuren:

- Road works can be planned and non-planned; this should be distinguished. Some road-works are long-lasting and announced.

- Unplanned road works usually cannot be recognised in historic RP, so are included automatically.

- In the UK we have the INCA model which contains delays due to road accidents (duration and severity). The severity (i.e. effect) of an accident depends on the number of alternatives that people have for alternative routes.

- However, I now find that you should not treat accident-related unreliability differently, but just include it in normal variability.

Bates:

From demand side, you should remove everything that is in principle predictable. Even if a person does not know that Friday traffic is different from Monday, it still should be excluded from a variability measure. These persons have disbenefits due to lack of information, not because of variability. So, quite a lot of analysis needs to be done before you can determine variability. There may be advantages in modelling by splitting between accidents and other causes, but in the end they should be added again.

de Jong:

- To summarise: on the demand side, only look at random variations. On the supply side, you have to work with an aggregate variability (combining several sources of variability).

Van Vuren:

- I like a single framework. But the transport model point-of-view may be different from CBA point-of-view.

- Our models give average travel time, not expected travel time. If you improve reliability, will the buffers be reduced? If you want to catch a flight, buffers are also for uncertainty for finding parking space, but also for lack of information.

Polak:

- In principle, there is some complexity that is not in the slide (p.24). Roadworks / accidents depend on flow, they are endogenous to the system: no flow, no accidents! These are quite distinct from interruptions of supply. Weather is exogenous. Suggestion: to introduce 3rd dimension exogeneity/endogeneity

- Regarding the ideas of Bates: it is an attractive proposition to factor out the elements that are in principle knowable. However, the distinction between predictable and not-predictable is not so easy to make. We may have to be more flexible (no distinction between predictable and not-predictable).

Peer:

- From RP you can test what people take into account. Therefore, you should have very good RP data.

Geistefeldt:

- Variations due to road works are important for users (in traffic management accidents matter), but not important for the transport Masterplan. Road work zones can be planned in such a way that they do not get congestion (e.g. done in Hessen); this is more a question for road works management; so therefore can be left out of the Masterplan.

- Accidents are different. ITS measures can influence safety levels and you have to take into account that some roads (motorways) are safer than others (e.g. rural highwayroads). When replacing rural roads by highways, you should take into account reduction of road works.

Warffemius:

- In the Netherlands, road construction companies are asked to be innovative, they are challenged to do it in such a way that least congestion occurs (minimize interruption). Therefore, reliability can be included in the construction works.

Geistefeld:

- The Masterplan should compare two road infrastructure projects. So, valuation of effects of road works might be interesting for other issues (e.g. planning of road construction work), but not for infrastructure decisions.

Polak:

- If you decide on building a road, you already decide on how to maintain it, and how to remove the accidents. So, you need to include their valuations in the decision process regarding the building of a new infrastructure. They are bundled.

Nagel:

- Construction costs might be negligible compared to costs from accidents (included dead / injured),

Geistefeldt:

- The impact of road works is matter of how you organise your road works, not how you build your roads.

Bates:

- You will need a model how road works lead to more variability. If there is no effect (like in Hessen), that's fine.
- Other remark: There is a general distinction between rail and road. Travel times in rail models are scheduled times. So, this already might include buffer times. So, how are the schedules made? On the highways: travel times are average times. What is the variation in travel time as a result of variations in demand? In old data sets, accidents, road works were excluded. Data requirement: mode choice is made based on scheduled time.

de Jong:

- Should we include the freak-incidents/calamities in the CBA of infrastructure projects?

Koster:

- As long as the preferences are stable, you can add it as an event somewhere in the tail of the distribution.
- If preferences change as a result of the incident, you should not.

Nagel:

- If oil prices rise to 140 US\$, you might run an electrical train for a certain period. Do you include this?

Polak:

- It is not about the probability of the rare effect, but about the impact of it. The issues around these extreme events are fundamentally different from the normal network effects. So, they should be excluded. It is a different issue.

Vierth:

-Extreme weather should be excluded.

Koster:

- It is difficult to decide what to include/exclude. If you use CBA for mode-choice you need to make similar decision for road and rail. Where do you draw the line?

Vovsha:

- We had similar discussion in US. If you have in mind the conventional model system with equilibrium run, you want to exclude extreme events (e.g. heavy snow). If you do multiple runs, you should include it. This is more realistic. Road works can then be included as well, whereas it is difficult to include it in a equilibrium-run. There are regions in the US where extreme weather conditions occur frequently, so they should be included. 70% of variation comes from demand side. A considerable part comes from accidents etc.

- Also include special events, like sport events: 50,000 people wanting to be at the same place within an hour. You cannot include this in a single equilibrium run. They do runs for a set of scenarios, with different weights.

Geistefeldt:

- If you consider extreme weather, what is the effect: do you build more roads?

Vovsha:

- If you ignore it, you overestimate capacity (up to 20% to 30%). Storms happen 50 days a year in Florida: must be included.

Geistefeldt:

- Do you design a road to handle conditions that only occur once a year?

Vovsha:

- It depends on frequency: once every 10 years not; but if it happens frequently: yes

Walther:

- New roads have extra benefit as an alternative in case a (parallel) road has a disaster. This needs to be included in CBA.

Nagel:

- What happens if a regular commuter is stuck in a congestion caused by a sport event and he is 1hr late. How do you include this? Goes into his average travel time.

Vovsha:

- Yes: goes both into average travel time and in travel time variability.

8. Closing remarks

De Jong summarises the discussions of this day:

- We have had a discussion with many experts. 5-10 years ago there were only 2-3 experts on this topic.
- Thanks to the German ministry to make this possible. It was also useful for the experts to exchange information. We all benefit in that we learn from each other's successes and mistakes.
- The discussion may have been very technical at times. Thanks to the translators who had a difficult job.

- What happens next?
 - The consultants will write minutes in English and distribute these to the experts. If you have any comments let us know
 - Last Friday we send you a list of the outcomes of the e-mail rounds. Changes will be made, a new version will be distributed.
 - Early January, we write a final report and formulate practical recommendations for the German Ministry. This report will be in German.

- I realise that many things are not yet solved and that there are many issues for further research.
- Go back to slide p. 3:
 - post-processing models (without changing the transport models) are relatively simple (so this is issue 1 plus 3, without 2), can be done in 2-3 years: pragmatic solution.
 - One step further would be to try to include something in transport demand model / assignment model. Maybe possible, needs to be discussed with the model developers
 - First and third question need to be done in a consistent way
- Regarding p. 24:
 - Do not call them extreme events, but very rare events. These should not be included in the standard CBA of infrastructure projects
 - It is possible to include accidents. You may want to include road works (if they really lead to delays) and weather.
- The devil is in the detail.
- Do more research to see what travellers know (could have known) about variation and how do they make their choices. How do users anticipated delays (e.g. by making buffers). In freight: how about buffer times?
- So better understand what is really going on.

- Thanks for your valuable contribution.

- You can send invoices to Significance for the amount agreed upon.

- I hope you have a good and reliable trip back home.

Monse:

- Thank you. If you are interested in the final German report, let us know.

Annex 7. Einige Beispiele von SP Fragebogen mit Zuverlässigkeit

Sydney Road System

Practice Game

Make your choice given the route features presented in this table, thank you.

	Details of Your Recent Trip	Road A	Road B
Time in free-flow traffic (mins)	50	25	40
Time slowed down by other traffic (mins)	10	12	12
Travel time variability (mins)	+/- 10	+/- 12	+/- 9
Running costs	\$ 3.00	\$ 4.20	\$ 1.50
Toll costs	\$ 0.00	\$ 4.80	\$ 5.60

If you make the same trip again, which road would you choose? Current Road Road A Road B

If you could only choose between the 2 new roads, which road would you choose? Road A Road B



For the chosen A or B road, HOW MUCH EARLIER OR LATER WOULD YOU BEGIN YOUR TRIP to arrive at your destination at the same time as for the recent trip: (note 0 means leave at same time) min(s) earlier later

How would you PRIMARILY spend the time that you have saved travelling?

Stay at home
 Shopping
 Social-recreational
 Visiting friends/relatives
 Got to work earlier
 Education
 Personal business
 Other

Back Next

Abbildung A1: Hess et al. (2006)

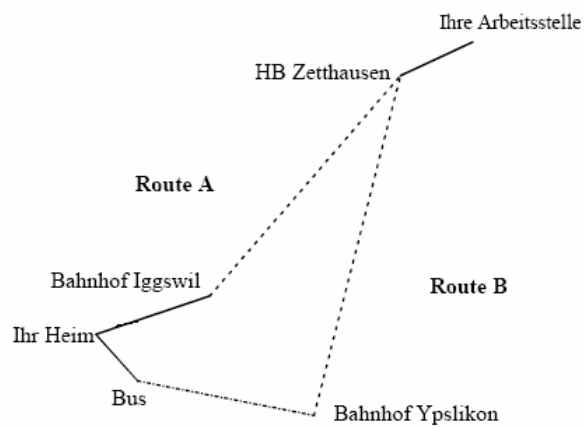
	 Route 1	 Route 2
Abfahrtszeit	16.45	17.00
Fahrtzeit (min)	60 min	40 min
Treibstoffkosten für die Fahrt	6,40 CHF	3,20 CHF
Art der Strassengebühr		Für eine zusätzliche Mautspur
Höhe der Strassengebühr		4,00 CHF
Verlässlichkeit	Verspätung grösser 10 Minuten: etwa jede zwanzigste Reise	keine
Ankunftszeit	17.45	17.40

← Ihre Wahl →

Abbildung A2: Vrtic et al. (2006)

Ich fahre mit	der Bahn		<input type="checkbox"/>
	Dauer:	90 Minuten	
	Pünktlichkeit:	100%	
Ich fahre mit	dem PW die normale Strecke		<input type="checkbox"/>
	Dauer:	45 Minuten	
	Pünktlichkeit:	50%	
Ich fahre mit	dem PW den grossen Umweg		<input type="checkbox"/>
	Dauer:	90 Minuten	
	Pünktlichkeit:	100%	

Abbildung A3: König (2004), A



Fahrzeit **Route A:** 50 Minuten

Fahrzeit **Route B:** 45 Minuten

Aufgrund Ihrer Erfahrung **verpassen Sie an 2 Tagen der Woche den Anschluss**, weil der Bus unpünktlich ist.

Dann benötigen Sie für die Route B 75 Minuten.

Aber das wissen Sie ja erst, wenn Sie bereits unterwegs sind. Welche Route wählen Sie für diesen täglichen Weg?

Antwort:

Ich wähle Route A.

Ich wähle Route B.

Abbildung A4: König (2004), B

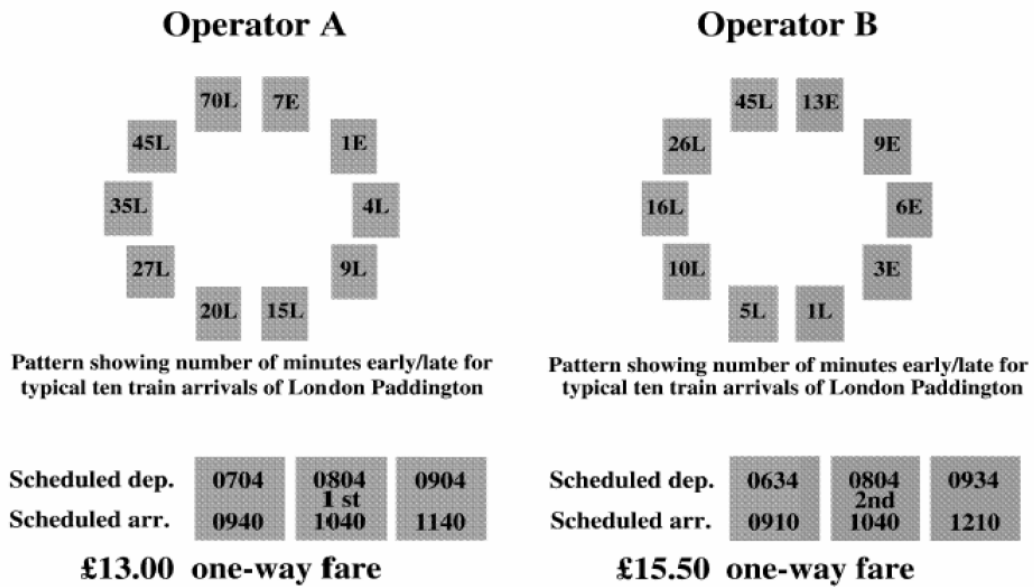


Abbildung A5: Bates et al. (2001)

In deze versie tonen we u de 5 mogelijke reistijden onder elkaar.
 Stelt u zich voor dat u met de auto naar een winkelcentrum wilt reizen. U kunt kiezen uit twee ritten: A en B. Welke zou u kiezen?

<p>Rit A</p> <p>Gemiddelde reistijd: 40 min</p> <p>U heeft een even grote kans op elk van deze 5 reistijden:</p> <p>35 min 40 min 40 min 40 min 45 min</p> <p>Kosten: € 3,80</p>	<p>Rit B</p> <p>Gemiddelde reistijd: 41 min</p> <p>U heeft een even grote kans op elk van deze 5 reistijden:</p> <p>30 min 35 min 45 min 45 min 50 min</p> <p>Kosten: € 2,80</p>
--	--

A

Abbildung A6: Significance et al. (2007)

Annex 8. Vorschläge zur SP/RP Erhebung zum Thema Bewertung von Reisezeit und Zuverlässigkeit

Die Entwicklung eines solchen Fragebogens soll im Wesentlichen folgende Merkmale berücksichtigen:

- RP-Fragen bezüglich einer tatsächlich unternommenen Reise (aus einem Rekrutierungsgespräch, z.B. mittels CATI),
- Fahrtzweck, Abfahrts- und Zielort, Aktivität am Abfahrts- und Zielort, genutzte Verkehrsträger, Entfernung, Fahrzeitkomponenten, Reisekostenkomponenten, wahrgenommene Zuverlässigkeit und Komfort, Abfahrtszeit, Staus, Zeitbindung, die Verfügbarkeit von alternativen Verkehrsträgern und Level-of-Service Variablen für diese Alternativen, sowie Einstellungsindikatoren (z.B. generelle Einstellungen zum Pkw, Umweltbewusstsein und daraus evtl. folgende ÖV-Nutzung, Sicherheitsempfinden im ÖV etc.),
- SP-Experiment (siehe unten), customized unter Verwendung der RP-Informationen über die tatsächlich unternommene Reise,
- Sozio-ökonomische Attribute (Einkommen, Haushaltsgröße, Alter, Beschäftigung, Bildung).

Das SP-Experiment

Das SP-Experiment basiert auf einem so genannten Pivot-Design (siehe Rose et al., 2008), bei dem die vorgestellten Alternativen zur Verkehrsträgerwahl auf die Details der letzten RP-Reise zugeschnitten sind. Wenn zum Beispiel die zuletzt angegebene Reise etwa 60 Kilometer lang war, dann sind das Auto oder die Bahn relevante Alternativen für diese Entfernung mit den entsprechenden Attribut-Ausprägungen, während das Flugzeug keine relevante Alternative darstellt (und daher möglicherweise im Experiment nicht als Wahlmöglichkeit den Befragten präsentiert wird). Die Attributebenen (prozentuale oder absolute Abweichungen) werden um die aktuell gewählte Alternative „gedreht“.

Bei jedem "Game-Screen" des Experiments wird jeder Befragte gebeten, zwischen den verschiedenen zur Verfügung stehenden Verkehrsträgern einschließlich ihrer aktuellen RP-Alternative eine Wahl zu treffen. Danach wird der Befragte unter Verwendung des gleichen "Game-Screen" gebeten, eine zweite Entscheidung zu treffen, die die Wahl zwischen zwei Optionen des gleichen Verkehrsmittels beinhaltet (in dem Beispiel die Wahl zwischen zwei

Alternativen für das Verkehrsmittel Auto). Diese zweite Wahlentscheidung beim gleichen "Game-Screen" hat den Vorteil, nur wenig zusätzliche Zeit des Befragten zu erfordern (um die Inanspruchnahme des Befragten in Grenzen zu halten), aber dennoch wichtige Informationen für die Schätzung der VOTs und VORs zu liefern. Aus den bisherigen Erfahrungen (z.B. Accent und Hague Consulting Group, 1995; De Jong et al., 2001) ist bekannt, dass die VOTs und VORs idealerweise im Rahmen von intra-modalen SP-Experimenten geschätzt werden, bei denen die Wahl innerhalb eines Verkehrsmittels (intra-modaler Choice) getroffen wird. Um zu vermeiden, dass zwei separate SP-Experimente durchgeführt werden müssen (nämlich ein Experiment für die verschiedenen Verkehrsträger für das Verkehrsmittelwahlmodell, und eines innerhalb eines Verkehrsmittels für die Schätzung von VOTs und VORs), schlagen wir als elegante Lösung dieses Problems eine SP-Befragung mit zwei Auswahlmöglichkeiten vor. So muss, wenn der gewählte Verkehrsträger der gleiche ist wie in der aktuellen RP-Fahrt, nicht mehr nach der zweiten Entscheidung gefragt werden. Darüber hinaus garantiert ein einziges SP-Experiment die Konsistenz zwischen dem Verkehrsmittelwahlmodell und den VOT- und VOR-Bewertungen.

Die Auswahl der relevanten Attribute und Attributwerte erfolgt zum einen auf der Grundlage des in der Literatur dargestellten Stands der Forschung und Anwendung von RP-/SP-Studien. Zum anderen beruht sie auf unseren eigenen Erfahrungen. Die vorläufige Auswahl beinhaltet:

- die Fahrzeit (möglichst differenziert nach Wartezeiten und der Zeit, die im Fahrzeug verbracht wird),
- Fahrtkosten (ggf. differenziert nach den verschiedenen Komponenten wie den Kraftstoff-, Park- und Maut-Kosten für Pkws und den Fahrkarten-Preisen für öffentliche Verkehrsmittel und für den Luftverkehr),
- Zuverlässigkeit,
- Komfort (z. B. Sitzplatzverfügbarkeit, Klimatisierung etc.).

Game 1 of 16	Car (Current trip)	Car	Train	Plane
In-vehicle travel time	140 min.	160 min.	120 min.	30 min.
Number of transfers	--	--	1	0
Waiting time	--	--	10 min.	40 min.
Arriving 10 min earlier	20%	50%	0%	30%
Arrive on time	60%	40%	90%	40%
Arrive 20 min later	20%	10%	10%	30%
Fuel costs	€ 16	€ 18	--	--
Toll costs	€ 8	€ 3	--	--
Ticket price	--	--	€ 20	€ 50
Your choice:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your choice:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Abbildung A7. Beispiel eines SP Choice-Screens

Die Darstellungsform für die Zuverlässigkeit einer Verkehrsalternative im Experiment erfordert besondere Aufmerksamkeit, da es sich dabei um ein Konzept handelt, das für die Befragten oft schwer nachzuvollziehen ist. So haben die meisten Befragten Probleme, die in den entsprechenden Forschungsprojekten verwendeten statistischen Messgrößen zu verstehen. Einer der möglichen Modellansätze zur Erfassung der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs ist der Scheduling-Ansatz (siehe z. B. Small, 1982). Da jedoch die Verkehrsmittelwahl eines der beiden Ziele der VOT/VOR Studie in Deutschland ist, und da die Wahl der Abfahrtszeit auf absehbare Zeit nicht in den BVWP-Modellen dargestellt werden kann, wäre der einzige Grund zur Anwendung eines Scheduling-Ansatzes die Tatsache, dass dieser bessere VORs liefern könnte. Die Ergebnisse verschiedener, in jüngster Zeit durchgeführter VOT- und VOR-Studien liefern jedoch keinen eindeutigen Beleg dafür, dass dies tatsächlich der Fall ist. Deshalb schlagen wir in den Alternativen 1 und 2 keine Scheduling-Modelle vor, nicht zuletzt auch deshalb, weil dies das SP-Experiment überfrachten würde (Frage nach der gewünschten Ankunftszeit und die Angabe verschiedener Werte für die tatsächliche Ankunftszeit). Stattdessen sollen Modelle angewendet werden, die die Unzuverlässigkeit als Streuung der Reisezeitverteilung berücksichtigen (wahrscheinlich als die Standardabweichung der Reisezeit) und relativ leicht in die Verkehrsmodelle aufgenommen werden können. Auch bei diesem Vorgehen ist allerdings darauf hinzuweisen, dass dennoch ein erheblicher Aufwand erforderlich ist.

Erste Überlegungen zum Design der SP-Experimente zielen darauf ab, für die deutsche Studie die in der aktuellen niederländischen VOT/VOR-Studie berücksichtigten fünf gleich

wahrscheinlichen Reise- und Ankunftszeiten je Wahlalternative (neben den Reisekosten und einer üblichen Fahrzeit) anzuwenden (Tseng et al., 2009).

In this version we show you the 5 possible travel times below each other.
Imagine that you want to travel by car to a shopping centre. You can choose from two trips A and B. Which one would you choose?

<i>Trip A</i>	<i>Trip B</i>
Mean travel time: 40 min	Mean travel time: 41 min
You have an equal probability of each of these 5 travel times:	You have an equal probability of each of these 5 travel times:
35 min	30 min
40 min	35 min
40 min	45 min
40 min	45 min
45 min	50 min
Cost: € 3,80	Cost: € 2,80

A

Abbildung A8. Vorgeschlagener Aufbau bei der Choice-Aufgabe für die nationale niederländische VOT/VOR-Studie (Tseng et al., 2009)

In der niederländischen VOT/VOR-Studie wurden sowohl Abfahrts- als auch Ankunftszeiten berücksichtigt, um die Schätzung von Scheduling-Modellen sowie von Mean-Dispersion Modellen zu ermöglichen. Für die neue deutsche VOT/VOR-Studie wird jedoch vorgeschlagen, mehrere Attribute für Kosten und Zuverlässigkeit zu berücksichtigen (siehe oben). Für dieses Vorgehen ist das aktuelle niederländische Setup der niederländischen Studie zu überladen; es würde die Erstellung des Designs verkomplizieren und die Aufgabe für die Befragten, eine Wahl zu treffen, erschweren. Ein Setup mit nur fünf gleichwahrscheinlichen Reisezeiten in jeder Alternative scheint jedoch praktikabel. Wir empfehlen das man sich zudem an Formulierungen für die Präsentation des Merkmals Zuverlässigkeit orientieren wird, die mit Erfolg an der University of Sydney eingesetzt wurden (siehe nachfolgendes Beispiel). Die beiden Spezifikationen von Zuverlässigkeit können in der Pilotphase getestet werden, und diejenige mit der besten Performance wird dann bei der Vollerhebung eingesetzt.

Game 1

Make your choice given the route features presented in this table, thank you.

	Details of your recent trip	Route A	Route B
Average travel time experienced			
Time in <u>free flow</u> traffic (minutes)	20	18	12
Time <u>slowed down</u> by other traffic (minutes)	20	20	12
Time in <u>stop/start/crawling</u> traffic (minutes)	20	14	20
Probability of time of arrival			
Arriving 6 minutes earlier than expected	10%	10%	40%
Arriving at the time expected	70%	70%	30%
Arriving 24 minutes later than expected	20%	20%	30%
Trip costs			
Running costs	\$2.25	\$2.59	\$1.69
Toll costs	\$4.00	\$2.40	\$3.60
If you make the same trip again, which route would you choose?	<input type="radio"/> Current Road	<input type="radio"/> Route A	<input type="radio"/> Route B
If you could only choose between the two new routes, which route would you choose?		<input type="radio"/> Route A	<input type="radio"/> Route B

Abbildung A9. Setup der Choice-Aufgabe für eine Studie zur Maut in Australien (Li et al., 2010)

Wir schlagen vor, sechzehn Choice-Sets pro Interview zu präsentieren; dies führt zu maximal 32 Antworten.