

## Wissenschaftlicher Beirat für Verkehr

# Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme

Prof. Dr. Axel Ahrens, Dresden  
Prof. Dr. Herbert Baum, Köln (Vorsitzender)  
Prof. Dr. Klaus Beckmann, Aachen  
Prof. Dr. Werner Brilon, Bochum  
Prof. Dr. Alexander Eisenkopf, Friedrichshafen  
Prof. Dr. Hartmut Fricke, Dresden  
Prof. Dr. Ingrid Göpfert, Marburg  
Prof. Dr. Christian von Hirschhausen, Dresden  
Prof. Dr. Günther Knieps, Freiburg  
Prof. Dr. Stefan Oeter, Hamburg  
Prof. Dr. Franz-Josef Radermacher, Ulm  
Prof. Dr. Werner Rothengatter, Karlsruhe  
Prof. Dr. Volker Schindler, Berlin  
Prof. Dr. Jürgen Siegmann, Berlin  
Prof. Dr. Bernhard Schlag, Dresden  
Prof. Dr. Wolfgang Stölzle, St. Gallen

**Februar 2008** (geringfügig korrigiert 16 Nov. 2008)

## 1 Einleitung

Alle Elemente des Verkehrssystems (Straße, Eisenbahn, ÖPNV, Luftverkehr, Binnenschifffahrt, Seeschifffahrt) sind auf ihre jeweils spezifische Weise eine Grundvoraussetzung für die Wertschöpfungsprozesse der Wirtschaft sowie für Lebensqualität und Teilnahme der Menschen an unverzichtbaren und angestrebten Aktivitäten. Die Ökonomie und das gesellschaftliche Leben sind auf Erreichbarkeit und damit auf eine weitgehend ungestörte Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems angewiesen.

Für die Funktion von Industrie und Gewerbe ist es z. B. wichtig, dass die Mitarbeiter pünktlich ihren Arbeitsplatz erreichen. Logistische Prozesse in der industriellen Produktion setzen die ungestörten Funktionen der Verkehrssysteme voraus („just in time“, „just in sequence“), um die Konkurrenzfähigkeit der erstellten Produkte und Dienstleistungen zu ermöglichen. Die Bürger sind zur Gestaltung und Aufrechterhaltung ihres privaten Lebensbereichs ebenfalls auf eine störungsarme Funktion des Verkehrssystems angewiesen. Im normalen täglichen Betrieb werden diese Anforderungen an die ständige Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Verkehrssystems durch Überlastungserscheinungen der entscheidenden Elemente in und zwischen den Ballungsräumen und vor allem durch Störungen und Sonderereignisse zu häufig verfehlt.

Dabei besteht die wichtigste Qualität einer Verkehrsanlage und der Elemente des Verkehrssystems darin, jederzeit mit der erwartbaren Qualität den Verkehrsteilnehmern und den Verladern zur Verfügung zu stehen. Abweichungen des Betriebszustands vom Regelzustand und von der erwarteten Qualität treten durchweg plötzlich und dann mit einer sehr starken Abweichung vom Sollwert ein. 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.

## 2 Qualitätsmaßstäbe und deren Bewertung

Die Planung von Investitionen in die Verkehrsinfrastruktur und für ihren Betrieb ist an den Zielen ausgerichtet, die mit den jeweiligen Verkehrswegen erreicht werden sollen, sowie an den verfügbaren Ressourcen finanzieller und sonstiger Art (z. B. Naturhaushalt, Energieverfügbarkeit, Flächenverfügbarkeit, Stadtstrukturen u. a.). Diese Ziele finden letztlich ihren Niederschlag in Regelwerken für Planung und Entwurf von Verkehrswegen sowie für multikriterielle und abwägende Entscheidungsvorbereitungen<sup>1</sup>. Bei öffentlichen Investitionen setzen die im Haushaltsrecht verankerten Sparsamkeits- und Effizienzanforderungen enge Spielräume für großzügige Standards. Bislang wird in der Regel der alltägliche Normalbetrieb als der maßgebende Fall für alle politischen Entscheidungen im Verkehrswesen sowie für das Handeln der zuständigen Verwaltungen herangezogen.

Die Zielkriterien konzentrieren sich weitgehend auf:

- Verkehrssicherheit (also Schutz vor Unfällen);
- Ökologische Aspekte (die nicht Gegenstand dieser Stellungnahme sind);
- Kurze Reisezeiten;
- Kosten für den Betrieb seitens der Verkehrsteilnehmer;
- Kosten für Investitionen und Betrieb seitens der Baulastträger.

Eine gesamtwirtschaftliche Optimierung der Infrastrukturplanung und -erhaltung setzt eine Abwägung aller dieser Zielkriterien voraus. Tatsächlich stehen bei der Auswahl von Problemlösungen aber häufig ausschließlich haushaltswirksame Kosten und Haushaltsrestriktionen im Vordergrund. Diese berücksichtigen nicht, dass es z.B. bei anstehenden Unterhaltungs- und Sanierungsarbeiten oder sonstigen unerwarteten Engpasssituationen zu Beeinträchtigungen für die Verkehrsteilnehmer und die Anlieger kommt, die eventuell mit relativ geringem haushaltswirksamen Mehraufwand gemindert werden können. Bei der Planung wird regelmäßig vom Normalbetrieb ausgegangen, obwohl sowohl die Infrastruktur als auch die Betriebsmittel ständig Engpässe, Provisorien und sonstige Schwachstellen aufweisen. Mit dem Festhalten an der Idee des Normalbetriebs werden somit gesamtwirtschaftlich günstigere Lösungen systematisch verfehlt.

Unzuverlässigkeit entsteht, wenn ein Verkehrsweg vorübergehend für die Benutzer unpassierbar wird oder nur mit erheblichem Mehraufwand an Zeit zu durchfahren ist. Ursachen für solche vorübergehenden Blockaden können u.a. sein:

---

<sup>1</sup> z. B.

- Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) für bundesweite Planungen aller Verkehrssysteme;
- Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS; wird fortgeschrieben unter dem Titel RAS-W) für Straßen;
- Standardisierte Bewertung von Verkehrsweginvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs.

- 
- Schäden am Fahrweg
  - Unfälle
  - Fahrzeugpannen
  - Überlastungen und dadurch bedingte Bildung von Staus
  - Arbeitsstellen
  - witterungsbedingte und sonstige ereignisbedingte Sperrungen und Einschränkungen.

Überlastungen entstehen, wenn die Verkehrsnachfrage größer ist als die Kapazität des Fahrweges. Unter der Kapazität wird hier die tatsächlich maximal mögliche Stärke des Verkehrs (gemessen in: Fahrzeuge / Stunde) verstanden, der einen Streckenabschnitt oder einen Knotenpunkt durchfahren kann. Diese Größe weist in den meisten Teilverkehrssystemen eine gewisse Variabilität auf. Vielfach ist es auch üblich, als Kapazität diejenige Verkehrsstärke aufzufassen, oberhalb der ein Mindestniveau für die Qualität des Verkehrsablaufs verfehlt wird. Die Qualität des Verkehrsablaufs wird in den einzelnen Teilverkehrssystemen anhand unterschiedlicher Parameter definiert, z. B. auf der Straße anhand der mittleren Reisegeschwindigkeit der Pkw.

Unter der Zuverlässigkeit ist jene Wahrscheinlichkeit zu verstehen, mit der das betrachtete Verkehrssystem oder eine Teilkomponente eine definierte Mindestqualität gewährleistet. Mindestqualitäten sind spezifisch für jedes Verkehrssystem zu definieren. Dies ist im Kapitel 3 bis 5 ausgeführt. Als Grenze zwischen einer noch hinnehmbaren Verkehrsqualität und dem Zusammenbruch des ordnungsgemäßen Betriebs ergeben sich solche Schwellenwerte in den meisten Verkehrssystemen aus der Kenntnis der system-immanenten Zusammenhänge.

Wenn die Mindestqualität nicht gegeben ist, bezeichnet man diesen Vorfall als Störung. Eine solche Störung kann in ihrem Ausmaß meistens nicht durch einen einzelnen Parameter beschrieben werden. Statt dessen sind zur vollständigen Beschreibung der Störung Angaben wie zeitliche Dauer, räumliche Ausdehnung, Anzahl der Betroffenen, Zeitverluste für die einzelnen Betroffenen oder eine ökonomische Bewertung der eingetretenen Schäden erforderlich.

Die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems resultiert aus den Komponenten:

- Kapazität und Qualität der Infrastruktur
- Unterhaltung der Infrastruktur
- Leistungsvermögen der Steuerungssysteme
- Qualifikation und Handlungszuverlässigkeit des beteiligten Personals
- Störungssicherheit der Fahrzeuge
- Sicherheit gegen Unfälle und Eingriffe von außen
- Witterungseinflüsse.

Jedes Teilsystem hat hierbei aufgrund der jeweiligen technischen Systeme sowie der unterschiedlich qualifizierten teilnehmenden Personen seine eigene Charakteristik.

In diesem Zusammenhang sind mehrere Grundsätze für den Betrieb der Verkehrssysteme zu verdeutlichen:

- Alle Verkehrssysteme verhalten sich in ihrer Betriebsweise streng nicht-linear. Das bedeutet: Bei geringer Grundlast – z. B. bei einer Nachfrage von bis zu 60 % der Kapazität – können kurzzeitige Belastungsspitzen oder Störungen – etwa durch Unfälle oder Pannen – ohne weitere Folgen von dem System bewältigt werden. Wenn sich das System dagegen an der Grenze der Belastbarkeit befindet, haben bereits eine geringe vorübergehende Zunahme der Nachfrage oder kleinste Störungen einen Zusammenbruch der Funktionsfähigkeit des Systems zur Folge. Deswegen tragen Kapazitätsreserven wirkungsvoll zum Schutz gegen die Unzuverlässigkeit von Verkehrssystemen bei.
- Der "Normalbetrieb" – also die Betriebsform, für die ein Verkehrssystem ausgelegt ist – findet nur selten statt. Eine unabdingbare Begleiterscheinung des Verkehrssystems ist es, dass Teile der Infrastruktur in erheblichem Umfang zur Durchführung von Unterhaltungs- und Erneuerungsarbeiten völlig oder teilweise außer Betrieb genommen werden müssen. Baustellen und Reparaturarbeiten sind Bestandteil des Normalbetriebes, ohne dass dies den langfristigen Planungen in ausreichender Weise zugrunde gelegt wird.

Dieses Papier konzentriert sich auf die Teilverkehrssysteme, die dem Fernverkehr dienen, weil hier der Bund eine maßgebende Verantwortung trägt und weil hier der Bundesverkehrsminister Einwirkungsmöglichkeiten besitzt.

Die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems steht in einem engen Zusammenhang mit dem Schutz vor Unfällen und Unfallfolgen. Insbesondere sehr schwerwiegende Unfälle, aber auch Übergriffe krimineller oder terroristischer Art können Verkehrs- und Kommunikationswege in schwerwiegender Weise beeinträchtigen. Im Folgenden werden nur die Aspekte der Zuverlässigkeit im täglichen Betrieb behandelt. Das Problem des Schutzes vor terroristischen Übergriffen oder die generelle Unfallprävention werden hier nicht angesprochen.

Fragen der Zuverlässigkeit - das liegt in der Natur der Aufgabe - sind stets aus der Sicht der Verkehrsteilnehmer und Nutzer der Verkehrsinfrastruktur im weiteren Sinne zu sehen.

### **3 Zuverlässigkeit im Straßenverkehr**

#### **3.1 Kapazität**

Wenn die Nachfrage die Kapazität der Strecken und Knotenpunkte überschreitet, bilden sich Staus. Bundesweit können auf Autobahnen ca. 39% aller Stauerscheinungen auf diese Ursache zurückgeführt werden (in Hessen ca. 58%, in Baden-Württemberg 36%). Sowohl die Nachfrage als auch das Leistungsvermögen der Straßen unterliegen – weil sie durch das Verhalten der Verkehrsteilnehmer maßgeblich beeinflusst werden - zufälligen Schwankungen. Eine statistische Analyse führt zu dem

Ergebnis, dass Straßen ihren optimalen Nutzen erreichen, wenn sie nur bis zu 90 % ihrer Nennkapazität ausgelastet werden. Sofern alle Möglichkeiten der Nachfragebeeinflussung ausgeschöpft wurden, kann eine Vermeidung von Staus durch Überlastung mit hoher Wirksamkeit nur durch die Erweiterung der Infrastruktur erreicht werden, soweit weitere verkehrsinduzierende Effekte hierbei durch flankierende Maßnahmen ausgeschlossen werden.

Durch verkehrssteuernde Maßnahmen können aber im Grenzbereich der Auslastung ebenfalls wirksame Beiträge zur Reduzierung der Stauhäufigkeit geleistet werden. So sind z. B. durch verkehrsabhängige Geschwindigkeitssteuerung oder durch Zufahrdosierung schon Verringerungen der staubedingten Zeitverluste in der Größenordnung von 40% auf einzelnen Strecken nachgewiesen worden.

Es sollte heute Stand der Technik sein, dass bei Neu- und Ausbau von Autobahnen verkehrsabhängige Verkehrsbeeinflussung eingesetzt wird. Oberhalb von noch festzusetzenden Verkehrsbelastungen (gemessen in DTV = durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke; z. B. größer als 30 000 Kfz/h und Richtung für 2-streifige Richtungsfahrbahn und größer 45 000 Kfz/h•Richtung für 3-streifige Richtungsfahrbahn) sollen Verkehrsbeeinflussungsanlagen als Standardausstattung der Autobahnen angesehen werden. Die dabei eingesetzten Steuerungsziele und -algorithmen sollen weiterentwickelt und vereinheitlicht werden. Zusammen damit muss eine Durchsetzung (Enforcement) der somit getroffenen verkehrsrechtlichen Anordnungen technisch ermöglicht und praktisch durchgeführt werden, damit die verkehrsabhängigen Steuerungen ihre beabsichtigte Wirkung einer Homogenisierung des Verkehrs erreichen.

Es ist aber auch sinnvoll, einzelne lokale Engpässe vorrangig durch gezielte bauliche oder verkehrstechnische Maßnahmen zu beheben. Um dies bei der Planung der Haushaltsmittel zu erreichen, kann es empfehlenswert sein, auch kleinere Maßnahmen baulicher oder betrieblicher Art einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung zu unterziehen, damit besonders effiziente Projekte, durch die lokale Engpässe zu beseitigen sind, vorrangig ausgeführt werden.

Ein möglicher, aber politisch nicht leicht durchsetzbarer Ansatz zur Angleichung der Nachfrage an die Kapazität der Straßen ist eine belastungsabhängige Maut. In diesem Sinne könnte eine Differenzierung der Lkw-Maut nach der vorherrschenden Verkehrsstärke, wie sie aufgrund der revidierten Richtlinien 1999/62 möglich ist und wie sie auf leichte Lkw oder auch Pkw ausgedehnt werden könnte, zum Abbau der Spitzenbelastung auf den Fernstraßen beitragen. Hierzu sind technische Probleme zu lösen, weil das für die Bemautung schwerer Lkw entwickelte Toll-Collect-System zu aufwendig für die Einbeziehung kleinerer Fahrzeuge ist. Weiterhin sind die Voraussetzungen für eine Akzeptanz durch die betroffenen Verkehrsteilnehmer herzustellen, die eine zweckorientierte Verwendung der Einnahmen aus der Maut und eine signifikante Kompensation auf der Seite der Verkehrssteuern zur Vermeidung von Mehrbelastungen erwarten.

Als besonders wesentlich wird es angesehen, die Zuverlässigkeit als ein entscheidendes Kriterium bei der Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen vor ihrer Einstellung in den Haushalt (z. B. BVWP, EWS) einzubeziehen. Bei der Erarbeitung der Bewertungskriterien bleiben bisher die häufig auftretenden Störungen außer Betracht. Bei einigen standardisierten Bewertungsverfahren (z. B. EWS) werden die Nachteile von Überlastungen sogar unabhängig von ihrem Ausmaß gezielt nur gering bewertet. Deswegen gelingt es mit den herkömmlichen Verfahren vielfach auch nicht, aus ökonomischer Sicht Investitionen in diejenigen Elemente der Infrastruktur zu rechtfertigen, welche die Zuverlässigkeit des jeweiligen Verkehrssystems gefährden, selbst wenn das vorhandene Netz offenkundig überlastet ist. Auf der anderen Seite werden die sehr geringen Zunahmen der Reisezeit, die im Normalbetrieb bei stärkerem Verkehr eintreten, mit größter Akribie ermittelt. Die Bewertungsverfahren für Infrastrukturverbesserungen sind in dieser Hinsicht zu korrigieren. Es kann nur einen geringen geldwerten Vorteil bedeuten, wenn über kürzere oder mittlere Distanzen mit 120 km/h statt 100 km/h gefahren werden kann, weil dadurch jeder einzelne Fahrer seine Reisezeit nur um geringe Zeitquanten verringern kann. Solche kurzen Reisezeitgewinne erbringen aber - auch wenn man sie über alle Fahrer und lange Bewertungszeiträume addiert - noch keinen tatsächlichen Nutzen. Ins Gewicht müssen aber die Zeitverluste fallen, die als Folge erheblicher Störungen zu großen Verspätungen bei den betroffenen Verkehrsteilnehmern führen. Dazu ist die Methodik der etablierten Bewertungsverfahren aller Verkehrsträger (z. B. EWS, BVWP, standardisierte Bewertung) entsprechend neu auszurichten. Es ist sinnvoll, neuere methodische Ansätze zu verwenden, in denen Zeitverluste sowie die Anzahl und das Ausmaß von Störungen nicht aus pauschalen Parametern sondern mit einer realitätsnahen Gegenüberstellung von Verkehrsnachfrage und Kapazität bei feinteiliger zeitlicher Auflösung errechnet werden. Dabei müssen auch der zufällige Charakter für das Auftreten von Störungen sowie die Verlagerungsmöglichkeiten im Falle von Staus methodisch einbezogen werden.

### **3.2 Unterhaltungsarbeiten**

Gerade für die Autobahnen rücken die Baustellen zunehmend in den Blickpunkt der Öffentlichkeit und damit auch des politischen Handelns. Baustellen verringern die Kapazitäten in erheblicher Weise - auch dann, wenn die Anzahl der Fahrstreifen unverändert bleibt. Sie sind eine wesentliche Ursache für Staus und Fahrzeitverlängerungen. Bundesweit sind etwa 35% aller Staus auf Autobahnen auf Baustellen zurückzuführen (in Hessen ca. 13%; in Baden-Württemberg ca. 30%). Die Anteile der Baustellen an den volkswirtschaftlichen Schäden durch Stauungen übertreffen diese Werte.

Arbeitsstellen unter Aufrechterhaltung des Betriebs sind an Straßen unvermeidlich. In hoch belasteten Teilen des Netzes (z. B. Autobahnen) treten Baustellen relativ häufig auf. Ca. 10 % der Strecken des Autobahnnetzes sind ständig von Baustellen betroffen. Dazu kommen kurzzeitige Arbeitsstellen für die Durchführung laufender Unterhaltungs- und kurzfristiger Instandsetzungsarbeiten. Wegen der hohen Auslastung der meisten Autobahnen gehen davon meistens erhebliche Staus mit großen

Zeitverlusten für die Verkehrsteilnehmer aus. Das Ausmaß der Störungen kann durch die Wahl des Zeitraums für die Durchführung der Arbeiten in hohem Maße beeinflusst werden.

Die gesamtwirtschaftlichen Verluste durch Baustellen, die durch verlängerte Reisezeiten bei den Verkehrsteilnehmern oder im städtischen Bereich durch Umsatzverluste bei den anliegenden Gewerbebetrieben entstehen, werden bisher in strategischen Planungen und im Baustellenmanagement gar nicht oder unzureichend berücksichtigt. Diese Kosten, die durch Baustellenbeschleunigung und koordinierte Abwicklung der Baustellen vermindert werden könnten, sind nicht haushaltswirksam. Es kostet also den Straßenbaulastträger nichts, wenn er sie vernachlässigt. Dagegen werden steigende Baukosten infolge veränderter zeitlicher Abwicklung (Nacht- und Sonntagsarbeit, Mehrschichtbetrieb, Beschleunigungsprämien) als Mehrkosten negativ bewertet. Sie führen so zu einer Senkung der rechnerischen Effizienz derartiger Maßnahmen. Der Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat für die Durchführung von Arbeitstellen an Bundesfernstraßen Vorschriften erlassen. Er lässt es zu, dass Beschleunigungsprämien bei vorzeitiger Fertigstellung gezahlt werden oder dass Strafen vereinbart werden, wenn der Termin für die Fertigstellung nicht eingehalten wird. Die Möglichkeiten dafür sind nach der bestehenden Erlasslage jedoch eingeschränkt.

Es ist in diesem Zusammenhang anzuraten, handhabbare und wissenschaftlich begründete Verfahren einzuführen, mit denen auch Mehrkosten für Beschleunigung und verkehrsverträglichere Koordination bzw. Bauen unter Verkehr aus einer gesamtwirtschaftlichen Sichtweise begründbar werden. Überwiegend werden aus der enger haushaltsrechtlicher Sicht die Baustellenkosten minimiert und dabei volkswirtschaftliche Schäden durch Staus und Zeitverluste in Kauf genommen. Es kann aber aus gesamtökonomischer Sicht sinnvoll werden, zusätzliche Aufwendungen, z. B. für kapazitätssteigernde Provisorien, für Mehrschichtbetrieb auf der Baustelle, für den Abbau von Behinderungen zu Spitzenzeiten sowie für die zeitliche Verschiebung und Koordination von Baustellen in Kauf zu nehmen, wenn dadurch große Beeinträchtigungen des Verkehrs vermieden werden können. Für diese Abwägung sind verbindliche und allgemein akzeptierte Empfehlungen und Grundsätze für die Baulastträger zu entwickeln.

Die Zuverlässigkeit für die Kraftfahrer und die Spediteure würde bereits dadurch erheblich verbessert, wenn über alle Baustellen, von denen eine große Behinderung zu erwarten ist, bereits in voraus - z. B. im Internet - besser als bisher informiert und diese Information in Routenempfehlungen integriert würde, weil dann viele Fahrten diese Abschnitte meiden könnten.

Unabhängig davon sollte in hoch belasteten Netzabschnitten eine reparaturarme Bauweise der Straßen und ihrer Ausstattung systematisch gefördert werden (z. B. Beton statt Stahl als Schutzeinrichtung). Es sollte auch erneut unter Beachtung moderner Erkenntnisse der Straßenverkehrstechnik überprüft werden, ob durch höherwertige Bauweisen des Straßenoberbaus sowie der Kunstbauwerke die Häufigkeit von Arbeitsstellen in angemessener Weise vermindert werden kann und ob die



---

Verkehrsstörungen an Arbeitsstellen im Regelwerk des Facility-Management für Straßen zutreffend berücksichtigt sind.

### 3.3 Unfälle und Vorfälle

Störungen im laufenden Betrieb werden in erheblichem Umfang auch von den Benutzern der Straße verursacht durch

- Unfälle
- Vorfälle verschiedener Art (Panne, verlorene Ladung, vorschriftswidriges Verhalten etc.).

In solchen Fällen hängen die Folgen für die Verkehrsteilnehmer in hohem Maße von der herrschenden Verkehrsstärke ab und von der Zeitspanne, innerhalb der die Störungsursache beseitigt werden kann. Die Möglichkeiten zur Verkürzung dieser Zeitspanne werden bisher im Straßenwesen nicht vollständig ausgenutzt.

Ein hoher Nutzen kann verhältnismäßig einfach erreicht werden, wenn kleinere Störungen kurzfristig behoben werden. Dazu gehört, dass im Falle von leichten Unfällen mit Sachschaden als schwerster Unfallfolge die beteiligten Fahrzeuge umgehend weggeräumt werden. Die diesbezüglichen Vorschriften der StVO (§34 (1) 2) sollten in ihrer Wirkung verstärkt werden. Vor allem aber soll die Aufrechterhaltung einer angemessenen Verkehrsqualität für das Handeln des beteiligten Einsatzpersonals Vorrang vor der Ermittlung der Unfallursache haben. Darüber hinaus sollen für schwerwiegende Unfälle Methoden der beschleunigten Dokumentation des eingetretenen Sachverhalts entwickelt werden (z. B. stereometrische Fotos und Luftbilder statt langwieriger Vermessungen am Boden). Für die Bereitstellung von Abschleppwagen und Bergungsmaterial sollen zu Zeiten und an Orten hoher Belastungen des Autobahnnetzes kurze Fristen durch organisatorische und technische Vorkehrungen gewährleistet werden. In Betracht kommt z. B. die ständige Bereitstellung eines Abschleppwagens an neuralgischen Punkten zu Spitzenverkehrszeiten. Systemfremde Überlegungen<sup>2</sup>, die einer schnellen Störungsbeseitigung im Wege stehen, sollten zurückgestellt werden. Die Entscheidungskompetenz des Einsatzpersonals vor Ort über die zu treffenden Maßnahmen (z. B. sofortiges Abschleppen statt Reparaturversuche vor Ort) sollte durch entsprechende Rechtsinstrumente gestärkt werden. Als Beispiel kann das in Los Angeles für das Autobahnnetz erfolgreich eingesetzte Programm dienen, mit dem havarierte Pkw nach spätestens 10 Minuten und verunglückte Lkw nach spätestens 90 Minuten weggeräumt werden sollen. Ähnliche Vorgehensweisen werden auch in den Niederlanden angewendet.

---

<sup>2</sup> So werden an einzelnen Orten nicht immer die am ehesten verfügbaren Abschleppdienste eingesetzt. Statt dessen wird darauf geachtet, dass seitens der Polizei alle Firmen in gleicher Weise beauftragt werden.

Im Falle von Pannen, aber auch bei Unfällen tragen Standstreifen entscheidend dazu bei, dass das Ausmaß der Störungen begrenzt bleibt. Deswegen ist bei der Ausbauplanung für das Autobahnnetz ein angemessener Wert auf die Beibehaltung und Schaffung von Standstreifen zu legen. Ihre Wirkung kann nicht - wie das vielfach geschieht - auf die Verhinderung von Unfällen verkürzt werden. Noch wesentlicher ist ihre Funktion für das störungsfreie Abstellen von liegen gebliebenen Fahrzeugen und als Ersatzverkehrsraum bei Störungen und Arbeitsstellen sowie als Zugangsweg für Hilfsdienste.

Alle Maßnahmen, die zur Vermeidung von Unfällen führen, tragen auch zur Steigerung der Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme bei. Unfälle werden im Wesentlichen von der Unzuverlässigkeit des Handelns der Verkehrsteilnehmer verursacht. Gegenmaßnahmen sind:

- Aus- und Weiterbildung, Information und Motivation der Fahrzeugführer
- Verkehrsüberwachung
- Erhöhung der Fehlertoleranz des Systems einschließlich der Minderung von Fehlerfolgen, vor allem durch technische Maßnahmen
- Anreize zum sicheren Verhalten

Besonders gilt dies im Straßenverkehr, weil dort Kraftfahrer mit unterschiedlicher Fahrpraxis und Motivation teilnehmen. Betrachtet man die Unfallverursachung im Straßenverkehr nach Teilgruppen, so sind beispielsweise Maßnahmen zur Reduktion der Unfallzahl junger Fahranfänger oder die Durchsetzung der Vorschriften über Lenk- und Ruhezeiten im Schwerverkehr auch aus Gründen der Zuverlässigkeit des Straßenverkehrssystems ein wichtiges Ziel der Verkehrspolitik.

### **3.4 Rettungswesen und Notfallmaßnahmen**

Alle Verkehrssysteme können von Unfällen betroffen sein. Schwerwiegende Unfälle verursachen nicht nur die unmittelbaren Schäden. Sie bringen auch meistens größere Folgewirkungen durch Zeitverluste für alle Verkehrsteilnehmer mit sich. Zur Eingrenzung der unmittelbaren Unfallfolgen und zur Verringerung der Folgewirkungen ist ein gut organisiertes System der Notfalldienste und der Sicherheitsbehörden unverzichtbar. Diese Dienste sind in Deutschland verkehrssystemübergreifend auf einem hohen Qualitätsniveau organisiert.

Es sind aber zunehmend Entwicklungen absehbar, in denen die Länder gerade an diesen Stellen mit Sparmaßnahmen in ihren Haushalten ansetzen. So sind in den letzten Jahren in erheblichem Umfang Dienststellen der Autobahnpolizei geschlossen und deren Aufgaben an zentraler Stelle konzentriert worden. In diesen Fällen entstehen teilweise so große Zeiten für das Ausrücken der Sicherheitskräfte zu Unfallstellen, dass daraus nennenswerte Risiken für die Verunglückten und andere Verkehrsteilnehmer entstehen können. Dadurch werden auch die Zeiten bis zur Beseitigung der eingetretenen Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs nachdrücklich verlängert. Bei solchen Rationalisierungsmaßnahmen ist es sinnvoll, die eingesparten Kosten sorgfältig mit den entstehenden Risiken und Nachteilen abzuwägen. Eine Konzentration auf rein fiskalische Perspektiven ist dabei

unzureichend. Statt dessen ist der Nutzen der Sicherheits- und Rettungsdienste einschließlich der Polizei für die Verkehrssysteme und deren Nutzer in die Entscheidungen über Standorte dieser Dienste einzubeziehen.

### **3.5 Handlungsbedarf**

Zur Steigerung der Zuverlässigkeit ist es notwendig, in den hoch belasteten Teilen des Autobahnnetzes ein intensives Störungsmanagement zu betreiben, bei dem alle beteiligten Stellen (Straßenverwaltung, Polizei, Straßenverkehrsbehörde, Notdienste, Staatsanwaltschaft, Pannendienste) unter einer einheitlichen Führungsstruktur zusammenarbeiten. Ziel muss es dabei sein, jegliche Störungen, die erhebliche Zeitverluste verursachen, möglichst schnell zu beseitigen und während der Störungen angemessene Sicherungs- und Steuerungsmaßnahmen zu treffen. Ein effektives und koordiniertes Störungsmanagement setzt kompetent und gut ausgestattete Verkehrs-Management-Zentralen voraus. Die Zentralen benötigen vor allem Entscheidungs- und Regelungskompetenz der Straßenverkehrsbehörden und der Polizei. In den USA hat es sich bewährt, in einer gemeinsamen Störungszentrale an einem Ort alle beteiligten Stellen (Straßenbaulastträger, Verkehrsbehörde, Polizei, Feuerwehr, u.U. ÖPNV-Betrieb) zusammenzuziehen. Management-Zentralen sind als Bestandteil der Infrastruktur anzusehen und zu finanzieren. Von großer Bedeutung sind sie in den Ballungsräumen, wo sie von örtlichen Instanzen in enger Kooperation mit den Straßenbaulastträgern der Bundesfernstraßen zu betreiben sind.

In besonders belasteten Netzteilbereichen oder auf hoch belasteten Netzelementen kann eine kontinuierliche Verkehrszustandsbeobachtung („Detektion“) in Verbindung mit verbesserten Mittelfrist- und Kurzfristprognosealgorithmen (1 bis 3 Stunden) dazu beitragen, frühzeitig Routenempfehlungen, Zielwahlempfehlungen wie auch Empfehlungen zu Fahrzeitpunkten zu geben. Damit können Überlastungen abgebaut oder vermieden werden. Werden die Lenkungsempfehlungen zudem mit situations- bzw. belastungsabhängigen Nutzungsentgelten verbunden, so ist eine deutliche Steigerung der Wirksamkeit zu erwarten.

Eine Einführung eines Verkehrssystem-Managements in den neuralgischen Teilen des Fernstraßennetzes trägt auch zu einer Verbesserung der für die Öffentlichkeit oder für spezielle individuelle Leitsysteme verfügbaren Informationen über die Verkehrslage bei. Die heute verfügbaren Verkehrsinformationen haben noch nicht überall die Qualität, die wünschenswert und möglich ist. Im Falle zuverlässigerer Informationen könnten die Verkehrsteilnehmer bei ihrer Fahrt mit höherer Treffsicherheit Störungen umgehen oder den Zeitpunkt ihrer Fahrt oder sogar das gewählte

Verkehrsmittel ändern, um so zuverlässiger ihr Ziel zu erreichen. Der Bund als Baulastträger des Fernstraßennetzes sollte hier seine Bemühungen nachdrücklich intensivieren (vgl. <sup>3</sup>).

Der verbesserten Zuverlässigkeit im Fernverkehr dient es auch, wenn auf den Bundesautobahnen (BAB) in Ballungsgebieten zusätzliche Anschlussstellen nicht zugelassen werden. Das Bundesverkehrsministerium hat seine frühere kompromisslose Haltung in dieser Sache in jüngerer Zeit zunehmend aufgeweicht. Zusätzliche Anschlussstellen verlagern rein lokalen Verkehr auf die Autobahnen. Sie sollen nur zugelassen werden, wenn - auch bei langfristiger Sicht - ein durch rein lokale Verkehre bedingtes Risiko von Überbelastungen ausgeschlossen werden kann. Auch im bestehenden Netz kommt bei dicht benachbarten BAB-Anschlussstellen eine Überprüfung dahingehend in Betracht, ob hier durch kleinräumige lokale Verkehrsbeziehungen, die über die BAB verlaufen, der regionale und überregionale Verkehr über Gebühr beeinträchtigt wird. Es sollten rechtliche Instrumente geschaffen werden, mit denen eine Schließung von BAB-Anschlussstellen dauerhaft oder zeitweise (z. B. während der Durchführung von Bauarbeiten oder zu Spitzenverkehrszeiten) auch gegen den Willen der örtlichen Gebietskörperschaften durchgesetzt werden kann, wenn bei einer Interessenabwägung zwischen örtlichem und überörtlichem Verkehr die Vorteile der Schließung deutlich überwiegen.

## **4 Eisenbahnen des Fernverkehrs**

### **4.1 Zuverlässigkeit und Kapazität im Schienenverkehr**

Die Eisenbahn ist ein von außen (d.h. nicht vom Fahrzeug aus) gesteuertes System. Weil infolge des geringen Reibwertes zwischen Stahlrad und Stahlschiene die Bremswege relativ lang sind, kann ein Triebfahrzeugführer jenseits von 40 km/h seinen Bremsweg nicht sicher überblicken. Bevor ein Zug in einen Abschnitt einfährt, muss sicher festgestellt werden, dass dieser frei und gegen andere Zugfahrten gesichert ist. Dazu dienen Außenanlagen wie Signale und Gleisfreimeldeanlagen sowie Stellwerke in sehr unterschiedlichen technischen Ausführungen. Ein Gleiswechseln ist nur über Weichen möglich, die selbst wieder in die Sicherheitskreise einbezogen werden, also von Signalen gesichert und verschlossen werden. Die Spurführung verhindert ein Ausweichen bei einem Hindernis und erlaubt eine Reihenfolgeänderung der Fahrzeuge (Überholen) nur in entsprechenden Bahnhöfen.

Die Fahrplanerstellung im Schienenverkehr berücksichtigt neben der reinen Fahrzeit auch Zeitzuschläge für kleine Abweichungen, längere Haltezeiten, kleinere Baustellen und unterschiedliches Fahrverhalten der Züge. Zwischen zwei Zügen werden Pufferzeiten eingelegt, um eine

---

<sup>3</sup> Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Telematik im Verkehr.  
Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats von Juli 2003; veröffentlicht: Internationales Verkehrswesen (55), Heft 12, S. 599 - 607, 2003

Verspätung möglichst nicht auf nachfolgende Züge zu übertragen. So wird eine pünktliche Zugfahrt in den allermeisten Fällen realisiert, allerdings verbrauchen die Zeitzuschläge auch Kapazität. Die Zahl der möglichen Züge auf einer Strecke hängt ab von der Zahl der nutzbaren Streckengleise, der Blockteilung, also den Signalstandorten zwischen den Bahnhöfen, der Geschwindigkeit auf der Strecke und dem Mischungsverhältnis zwischen langsamen und schnellen Zügen. Ein Streckengleis im Einrichtungsbetrieb kann mit bis zu 10 Zügen je Spitzenstunde belegt sein. Über mehr als 6 Stunden lässt sich ein derartiger Vollbetrieb aber nicht stabil aufrechterhalten.

Kapazitätsbestimmend für die Netzkapazität sind auch häufig die Knoten und Verzweigungen. Zur Sicherheit einer Zugfahrt müssen mögliche Flankenfahrten ausgeschlossen werden. Je nach Gestaltung des Knotenpunktes ergeben sich daraus Kapazitätsbegrenzungen. Prinzipiell sollten Knoten so ausgelegt sein, dass von jeder Zulauftrichtung ohne Behinderung einer anderen in den Knoten eingefahren werden kann und dass Ähnliches auch für die Ausfahrten gilt. Häufig sind aber die dafür notwendigen Überwerfungsbauwerke (Brücken und Rampen) aus Platzgründen nicht möglich. Wenn die Summe der Kapazitäten der zulaufenden Gleise nicht in etwa der der abgehenden Gleise entspricht, können Netzelemente nicht voll ausgelastet werden, es sei denn, in diesem Knoten enden und beginnen entsprechend viele Zugfahrten.

## 4.2 Störungsursachen

Störungen des Eisenbahnverkehrs gehen auf Schäden an der Infrastruktur (Schienenwege, Signale, Energieversorgung), auf Mängel an den Fahrzeugen oder auf ineffiziente Arbeitsweise des Personals zurück. Sicherlich ist die Vielzahl der technischen Elemente, deren gleichzeitiges Funktionieren für einen zuverlässigen Betrieb notwendig ist, trotz sehr geringer Ausfallraten jedes einzelnen Bausteins mitentscheidend für Pünktlichkeitsquoten von 70 - 90%, gemessen als Differenz zwischen geplanter und tatsächlicher Ankunft der Züge in wichtigen Bahnhöfen.

Durch die zunehmende Zentralisierung der Betriebsüberwachung und der Disposition in Betriebszentralen (BZ) kann größeren Störungen wie Liegenbleiben von Zügen oder Streckensperrungen durch netzweite Disposition entgegen gewirkt werden. Die Informationen über die Maßnahmen gehen zeitnah an alle beteiligten Stellen, so dass theoretisch auch die Kunden über den Grund für Verspätungen, Anschlüsse o.ä. informiert werden können.

Verschiedene Rückfallebenen ermöglichen auch bei Ausfall von Komponenten einen Betrieb, allerdings mit Zeitverzögerungen durch erheblich geringere Geschwindigkeiten. Zu Spitzenverkehrszeiten können sich die Dauer des Fahrgastwechsels (Aus- und Einsteigen) und ein ineffizientes Verhalten der Fahrgäste als eine Störungs- bzw. Verspätungsursache herausstellen. Eine geeignete Konstruktion der Fahrzeuge und der Bahnsteige (Stufenzahl zum Einstieg, Spaltbreite, Weite der Türen, Stauraum im Fahrzeug bei den Türen) kann hier helfen. Barrierefreier Betrieb (d.h.

stufenfrei und ohne Spalt zwischen Bahnsteig und Fahrzeug) in der gesamten Beförderungskette muss das Ziel sein - auch unter der Zielsetzung einer reibungslosen Abfertigung der Züge.

Eine besonders bedauerliche Ursache zahlreicher Störungen des Bahnbetriebs sind Eingriffe von außen, hier insbesondere Suizidfälle oder Fehlverhalten der Fahrzeuglenker an höhengleichen Bahnübergängen.

### **4.3 Störungsauswirkungen und Gegenmaßnahmen**

Im Eisenbahnverkehr führen geplante Baustellen und größere Störungen häufig dazu, Züge umzuleiten, weil so die Auswirkungen in Grenzen gehalten werden können. Dafür müssen geeignete Strecken vorhanden sein. Die Bereithaltung von Redundanzen und Reserven ist demnach eine wesentliche Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb. Bei der Bewertung der Netze ist dieser Nutzen in geeigneter Weise einzubeziehen. Auch der Kostendruck auf das Netz darf diese notwendigen Redundanzen nicht abbauen. Ein geeignetes Mittel zur Quantifizierung sind die Betriebserscherniskosten, die entstehen würden, wenn ein Netzelement nicht mehr vorhanden wäre.

Dazu gehören Überholgleise und Möglichkeiten zum Überwechseln auf das Gegengleis. Die dazu benötigten Weichen verursachen Betriebskosten und bilden ihrerseits Quellen für Störungen. Die im Sinne der Störungsstabilität sinnvolle Strategie dafür ist, alle Bahnnetze (auch kommunale Bahnen des Nahverkehrs) sorgfältig und redundant, d.h. aber auch nicht investionskostenminimal sondern gesamtkostenoptimal zu gestalten. Hier sind neue Zielkompromisse zwischen Kosteneffizienz und Robustheit gegenüber Störungen zu suchen.

Öffentliche Verkehrsmittel, die für viele Reisende keine direkten Verbindungen bieten - das ist vor allem die Eisenbahn im Fernverkehr - können bereits mit geringen Verspätungen einzelner Fahrzeuge sehr große Zeitverluste der Reisenden verursachen, wenn die Anschlüsse nicht erreicht werden. Gerade hier hat die zuverlässige Einhaltung der Fahrpläne einen besonderen Wert. Die Zuverlässigkeit der Anschlüsse wird von den Fahrgästen für wichtiger gehalten als eine kurze - im Fahrplan ausgewiesene - Reisezeit. Deswegen sollten die im Fahrplan ausreichend vorhandenen Zeitreserven zum Ausgleich von zu erwartenden Unregelmäßigkeiten auch bei einem zukünftig erhöhten wirtschaftlichen Druck nicht eingeschränkt werden.

Im Falle von Störungen ist es für die Reisenden ohne Hilfe des Eisenbahn-Verkehrs-Unternehmens nicht möglich, unter den dann noch gegebenen Handlungsalternativen sinnvoll auszuwählen. Gerade im Störungsfall besteht seitens der Reisenden ein umfangreicher Informationsbedarf, der auch die aktuelle Verkehrslage der Anschlusszüge einbezieht. Die Informationssysteme von Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen (EIU) und allen Eisenbahnverkehrs-Unternehmen (EVU) sollen verbessert und noch wirkungsvoller verknüpft und die Entscheidungsprozesse koordiniert werden, ohne die Diskriminierungsfreiheit anzutasten. In diesem Zusammenhang ist auch die Rolle des EIU 'DB Station und Service' zu überdenken.

#### 4.4 Überlastung der Kapazität

Die Kapazität von Eisenbahnstrecken, gemessen in Zügen je Streckenabschnitt pro Zeit, ist von der Nutzungsstruktur abhängig. Verkehren nur Züge mit gleicher und relativ niedriger Geschwindigkeit, so ist die Kapazität höher gegenüber einem Mischbetrieb von Hochgeschwindigkeits-, Regional- und langsamen Güterzügen. Der Anspruch bestimmter Zugprogramme auf die Einhaltung knapper zeitlicher Takte bedingt darüber hinaus, dass prioritäre Züge bevorzugt abgefertigt werden müssen, während andere auf nachgeordnete Zeitfenster verdrängt werden. So kann es zum Beispiel vorkommen, dass Regionalzüge, die von regionalen Aufgabenträgern bestellt wurden, in geringen Zeitabständen in Bahnhöfe einfahren müssen, um ein Umsteigen innerhalb einer kurzen Zeitspanne („Regionaltakt“) zu gewährleisten. Insbesondere, wenn Malusregelungen im Falle der Nicht-Einhaltung des Taktes vereinbart sind, werden u. U. schwach besetzte Regionalzüge gut ausgelasteten und wirtschaftlich hochwertigen Fernzügen vorgezogen.

Kapazitätserhöhungen durch den Bau weiterer Gleise sind in der Regel sehr aufwendig und nur langfristig realisierbar. In manchen Fällen lassen sich Engstellen durch Umfahrungen beheben, wobei im Falle der Umfang von Bahnhöfen mit Widerständen der Regionalpolitik (Beispiel Mannheim) zu rechnen ist. Ein Erfolg versprechender Weg besteht darin, Engpass beseitigende Maßnahmen mit einer Änderung der Linienplanung und Trassenzuweisung zu verbinden, um die Nutzungsmischung zu homogenisieren. Im Falle des stark ansteigenden Güterverkehrs auf zentralen Korridoren ist die Schaffung eigener Güterverkehrstrassen angezeigt. Dies wird zum Beispiel entlang der Nord-Süd-Route im Seehafenhinterland-Verkehr unerlässlich sein, um die angestrebte Transportverlagerung auf die Schiene (Verdoppelung der Güterverkehrsleistung der Schiene von 1997 bis 2015) zu erreichen. Der Beirat empfiehlt, das Netz 21-Konzept (Entmischung schneller und langsamer Züge) insbesondere durch Ausbau von Güterverkehrstrassen beschleunigt zu realisieren und primär die Engpässe im Seehafenhinterland wie auch auf den Zulaufstrecken zu Alpen querenden Tunneln zu beseitigen.

#### 4.5 Unterhaltung und Instandhaltung

Das Schienennetz wird ständig überwacht. Bei Inspektionsfahrten werden zahlreiche Messwerte für die Gleislage etc. aufgenommen und mit Schwellwerten verglichen. Werden sicherheitsrelevante Schwellwerte unterschritten, muss sofort eingegriffen werden oder es werden Langsamfahrstellen eingerichtet, die entsprechende Fahrzeitverlängerungen bis zum Beheben der Schwachstellen zur Folge haben. Die Instandhaltungsstellen organisieren die Baustellen und den Einsatz der Geräte nach diesen Mängellisten und ihrem örtlichen Instandhaltungsbudget.

Unterhalt und Instandhaltung werden heute zum größten Teil bei laufendem Betrieb (unter dem rollenden Rad) durchgeführt, wozu u. U. Züge umgeleitet oder Fahrzeitverlängerungen in Kauf genommen werden. Werden die Schäden an der Infrastruktur nicht rechtzeitig behoben, werden die

Fahrzeitverlängerungen häufig in den Fahrplan eingearbeitet, wodurch u. U. Taktsysteme zusammenbrechen.

Die Aussetzung von Instandhaltungsmaßnahmen während der Fußballweltmeisterschaft im Sommer 2006 und die verstärkte Wiederaufnahme danach haben sich deutlich im Pünktlichkeitsbild der Bahnen niedergeschlagen. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die DB AG öffentliche Mittel für die Instandhaltung und für Ersatzinvestitionen erhält, die an die Verwendung innerhalb des jeweiligen Haushaltsjahres gebunden sind. Die Bindung der Instandhaltungsmaßnahmen an fiskalische Zwänge passt nicht in das Bild eines marktorientierten und eventuell sogar börsenfähigen Unternehmens und ist durch eine Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung zu ersetzen, die genügend unternehmerische Freiheiten für die Optimierung der Instandhaltungsprogramme bei Sicherstellung einer gewünschten Netzqualität gewährt.

#### **4.6 Schnellere Migration neuer Techniken**

Gerade im internationalen Verkehr ist es erforderlich, kompatible Fahrzeuge einzusetzen, die sich in einem guten technischen Zustand befinden. Hier sollte das Trassenpreissystem mehr Ansätze enthalten, den Einsatz störungsärmerer und fahrwegfreundlicher, auch lärmreduzierender Technik zu fördern, wenn der Staat sich weiter daran hält, nur die Netze direkt zu fördern.

Die Bemühungen der EU-Kommission, über geeignete TSI (Technical Specifications for Interoperability) die technischen Inkompatibilitäten zu überwinden, verdienen verstärkte nationale Unterstützung, nicht zuletzt, weil auch im Störfalle schneller Ersatzlösungen zur Verfügung stehen. Hinzu kommt, dass mit der Einführung eines EU-einheitlichen Führerscheins für Eisenbahntriebfahrzeuge ein interoperabler Einsatz des Fahrpersonals möglich wird, was weitere Flexibilitäten in Störfällen schafft.

Wenn der Staat über seine Netze für ein besseres Bahnsystem sorgen will, sind Bonus-Malus-Systeme zwischen den EVU und den EIU erforderlich, um diese Anreize bzw. den Druck an die Operateure weiterzugeben. Mit modernen Techniken und Methoden sollte das Ziel verfolgt werden, eine zeitgerechte Instandhaltung mit dem Ziel einer Substanzerhaltung des bundeseigenen Schienennetzes auf hohem Niveau zu sichern. Dazu bedarf es einer ausreichenden finanziellen Ausstattung und wirksamer Anreizsysteme.

Die Netzbetreiber (EIU) verfügen über die technischen Möglichkeiten, die Fahrzeuge auf ihrem Netz in Aspekten wie Achslagertemperatur, Radsatzlasten, Flachstellen u.a. punktuell zu überwachen. Dadurch sollen gefährliche Situationen wie Entgleisungen infolge Achslagerversagen und Schäden für die Infrastruktur vermieden und der Verschleiß minimiert werden. Diese Überwachungsanlagen müssen eine hohe Zuverlässigkeit besitzen, um nicht selbst durch Fehlmeldungen Auslöser von Fahrplanabweichungen zu werden. Andererseits sollte aber auch ein EVU, das bewusst und mehrfach gegen die Netznutzungsbedingungen verstößt und die definierten Grenzwerte überschreitet, spürbar



durch Pönale belastet werden, um solche Abweichungen in Zukunft zu unterbinden. Im Gegensatz zu Österreich ist die Nutzung derartiger Überwachungsanlagen in Deutschland noch unterentwickelt.

## 5 Luftverkehr

### 5.1 Zuverlässigkeit und Kapazität im Luftverkehrssystem

Ähnlich dem Eisenbahnverkehr ist das Luftverkehrssystem ein hinsichtlich Nachfrage und möglichem Durchsatz (Kapazität) vorrangig von außen, hier der Flugsicherung, gesteuerter Verkehrsträger. Dies gilt insbesondere für den kommerziellen Luftverkehr, der seitens der Deutschen Flugsicherung (DFS) operativ gesteuert wird und dessen Flugpläne zunächst von der DFS angenommen werden müssen. In Rahmen dieses Annahmeverfahrens wird für stark belastete Lufträume / Flugplätze die Nachfrage der Kapazität durch Kontingentierung angeglichen. Der Pilot ist zur konsequenten Befolgung der Steuerungsanweisungen verpflichtet. Von daher handelt es sich um ein zentral gesteuertes Verkehrssystem, das seit Jahrzehnten nach dem Prinzip „First Come, First Serve“ arbeitet. Es wird insofern nicht jenem Luftfahrzeug der Vorzug gegeben, das ökologisch oder ökonomisch produktiver operiert, sondern jenem, das zuerst „da“ ist. Dieses Verfahren ist infrage zu stellen und einem *On Time Service* Konzept den Vortritt zu lassen: Hiernach würde jenem Luftfahrzeug den Vorrang gegeben werden, das möglichst seine Planzeit einhält. Auf diese Weise wären Umweltbelastungen durch eine ganzheitliche Optimierung des Verkehrs deutlich zu senken und Anreize zu schaffen, Koordinationsvorgaben seitens der Flugsicherung und der überregionalen Verkehrsflussteuerung möglichst genau einzuhalten.

Das wesentliche operative Steuerungsinstrument der Flugsicherung besteht in der Vorgabe und Überwachung von Flugabständen zwischen den Luftfahrzeugen. Im Streckenverkehr liegt dieser Stafflungswert bei 5 Meilen bei ca. 800 km/h Geschwindigkeit. Gestaffelt wird alternativ auch vertikal mit 300 – 600 m. Da die Luftfahrzeuge höchst sensibel auf Abweichungen von ihrer jeweiligen Idealflyhöhe mit steigendem Kraftstoffverbrauch reagieren und zudem die gängigen Luftfahrzeugmuster alle sehr ähnliche ökonomische Flughöhen im Bereich um 10 km aufweisen, ist eine weitere Reduktion dieser Stafflungswerte über verbesserte Messtechnik zur Steigerung der nutzbaren Kapazität im Luftraum anzustreben. Die Erfolge der jüngsten derartigen Umsetzungen („halbierte Vertikalstaffelung“) der Europäischen Flugsicherungsbehörde EUROCONTROL, für Europa seit 2002 wirksam, bestätigen die Effizienz derartiger Maßnahmen und sollten so auch als Bestandteil aktueller Bemühungen für einen "Single European Sky" besondere politische Beachtung erhalten.

Da kommerzielle Luftfahrzeuge in ihrem Bewegungsverhalten zudem recht „träge“ sind und weil daher beispielsweise Geschwindigkeitsänderungen im Streckenflug nur in einem möglichen Bereich von ca. 5% liegen, folgt, dass im Falle von Systemstörungen (z. B. Gewitterzellen über Flughäfen) die

Flugabstände zur Erhaltung des gegenwärtig hohen Sicherheitsniveaus ( $10^{-7}$  Unfälle pro Start für die Lufthansa- Flotte) umgehend erhöht werden müssen.

Um dieses zu erreichen, ist wiederum ein möglichst frühzeitiges Eingreifen durch die Flugsicherung erforderlich. Diese Eingriffe, die neben den vorgenannten operationellen Steuerungen einzelner Luftfahrzeuge in Europa zentral durch die Verkehrsflusssteuerungszentrale (Central Flow Management Unit, CMFU) mit Sitz in Brüssel als Vorgabe an die betroffenen Luftraumsegmente strategisch übersandt werden, führen sodann zu Verspätungen im Flugablauf, wobei die Höhe der Verspätung nichtlinear mit der Auslastung des Verkehrssystems zum Zeitpunkt der Aktivierung der Maßnahme steigt. Die CFMU hat sich seit ihrer Inbetriebnahme als zuverlässigkeitssteigernder Mechanismus erwiesen. Allerdings erfolgen die Steuerungseingriffe noch zu undifferenziert im Hinblick auf die jeweilige Betriebssituation am betroffenen Flughafen. Hier ist die Rolle der Flughafenbetreiber bei der Festlegung temporär reduzierter Annahmeraten im Rahmen einer gemeinschaftlichen Entscheidungsfindung politisch und technisch zu stärken.

Zuverlässigkeit des Luftverkehrssystems ist demnach dann gegeben, wenn bei aktueller Nachfrage zu jeder Zeit „ausreichende“ Kapazitätsreserven verbleiben, die Nachfrage also kleiner oder gleich der praktischen Kapazität ist. Die praktische Kapazität ist hierbei jene, die eine vorab festgelegte maximale Verspätung des einzelnen Luftfahrzeuges und damit „ausreichende“ Mindestpünktlichkeit gewährleistet. Der zugehörige Verspätungswert liegt für Start- und Landebahnssysteme an Flughäfen bei 4 min, für die gesamte Flugmission entsprechend den Vorgaben der IATA bei 15 min. Ein Flug gilt demnach erst dann als verspätet, wenn er seine Ankunftszeit am Standplatz des Zielflughafens um mehr als 15 min verpasst.

Ergänzend wird noch die technische Kapazität im Luftverkehr definiert: Sie gibt jenen Durchsatz an, der technisch maximal möglich ist (ideal gestaffelter Verkehr). Die technische Kapazität ist jedoch nur für temporäre Spitzennachfragen auszuschöpfen, da sich gemäß den vorgenannten Gesetzmäßigkeiten erhebliche Verspätungen bei längerfristigem Betrieb auf diesem Niveau ergeben würden. Aufgrund der starken Nachfrageschwankungen über den Tagesverlauf - bedingt durch die zahlreichen Randbedingungen bei der Umlaufplanung der Luftfahrzeuge (Anschlussflüge im Kurzstreckenbereich, Zeitzoneneffekte im Interkontinentalbereich) - sind aber Spitzenbelastungen im Luftverkehrssystem unvermeidbar. So schwankt selbst beim grundsätzlich hoch belasteten Flughafen Frankfurt die realisierte Verkehrsnachfrage von knapp 40 Flugbewegungen in morgendlichen Stunden bis zu 90 Flugbewegungen pro Stunde in der Vormittags- und Nachmittagsspitze. Weiterhin ergeben sich noch zeitlich erheblich unterschiedliche Start- und Landespitzen aufgrund der Hubfunktionen des Flughafens.

Die Realisierung von Bewegungszahlen dauerhaft oberhalb der praktischen Kapazität wird regulativ durch die Koordination der stark frequentierten Flughäfen durch den Flughafenkoordinator im Auftrag

des BMVBS verhindert. So werden allen koordinierten Flughäfen für die jeweilige Flugplanperiode (Sommer/Winter) Koordinationseckwerte vorgegeben.

Dieses Verfahren ist solange ökonomisch sinnvoll, wie Aspekte, z. B. der temporären Lärmbeeinflussung, aus dieser Regulierung ausgeschlossen bleiben. Dies ist aber nicht immer der Fall, wie es z. B. die Situation am Flughafen Düsseldorf (Koordinationswert deutlich unterhalb der praktischen Kapazität des Flughafens) zeigt. Hier ist die Politik gefordert, eine klarere Differenzierung von Kapazitäts- und Fluglärmaspekten in der Praxis durchzusetzen, letztere sind formal ohnehin unabhängig von Kapazitäten gesetzlich aktuell geregelt (Neufassung des Fluglärmgesetzes, Stand Juni 2007).

Auch der in Deutschland nur noch an wenigen Standorten realisierbare 24-Stunden Flugbetrieb an Flughäfen folgt einem Regulationsprinzip, das das Fluglärmgesetz nicht fordert und dem heutigen Transportsystemgedanken (in time delivery) an Hub- bzw. Frachtflughäfen wie Frankfurt, München und Leipzig/Halle widerspricht und die Wirtschaftskraft Deutschlands schwächt. Insofern ist verkehrspolitischer Korrekturbedarf dahingehend gegeben, dass allein die im Fluglärmgesetz nun klar geregelten Nacht-Schutzzonen zugunsten eines Nachflugverbotes zur Anwendung kommen sollten. So können wettbewerbsfähiger Luftverkehr und Nachtruhe gleichzeitig gewährleistet werden. Dies ist für eine Stärkung des Standortes Deutschland essentiell, da kein einziger europäischer Konkurrent zu beispielsweise Frankfurt/Main wie Amsterdam, Mailand oder London mit einem Nachtflugverbot, wohl aber einem Kontingent bis 05 Uhr morgens belegt ist. Es gilt hierbei insbesondere zu beachten, dass Hub-Drehscheiben wie Frankfurt im Internationalen Warenverkehr generell austauschbar sind.

## **5.2 Einfluss der Witterungsbedingungen auf die Kapazität und Sicherheit**

Die Staffelung der Luftfahrzeuge dient implizit der Gewährleistung einer sichereren Verkehrsabwicklung. Die Sicherheit wird hierbei über das Maß der wahrscheinlichen Abweichungen von den Planvorgaben abgeleitet. Offenkundig sind Abweichungen umso wahrscheinlicher, je widriger die operationellen, im Wesentlichen meteorologischen Randbedingungen sind. Insofern ist die praktische Kapazität im Luftverkehr keine durchweg konstante Größe, sondern sie wird allem voran durch Wetterminima beeinflusst. Beispielsweise wird bei Schlechtwetterlandungen an Flughäfen die Staffelung deutlich erhöht und damit werden die Flugzeuge, die bereits im Anflug sind, ggf. in Warteschleifen geführt. Noch nicht gestartete Luftfahrzeuge werden über Steuerungsvorgaben der CFMU am Startflugplatz am Boden gehalten, bekommen also einen Abflugslot. Die Bandbreite der praktischen Kapazität einer Start- und Landebahn kann daher zwischen 40 und 20 Starts und Landungen pro Stunde schwanken.

Die Zuverlässigkeit des Luftverkehrssystems ist folglich neben der technischen Verfügbarkeit der Infrastruktur (Flughafen, Überwachungs- und Steuerungstechnik im Luftraum) und deren Redundanz nachhaltig von der Vorhersagequalität des Wetters und den Flugabsichtsdaten (insbesondere im

Winter bei Eis- und Schneebedingungen) abhängig. Die Bereitstellung hochpräziser Ist- und Prognosedaten für das Wetter an Flughäfen ist somit elementar für ein zuverlässiges Verkehrssystem. Hier ist darauf hin zu wirken, dass der Deutsche Wetterdienst bzw. entsprechende private Unternehmen Wetterämter an den Flughäfen eher aus- als abbauen und neueste Berechnungs- und Informationssysteme bereitstellen. Als positives Beispiel sei die angestrebte Einführung von Präzisionsflughafenwetterberichten am Flughafen Frankfurt genannt.

### **5.3 Rolle der Flughäfen**

Eine ausreichende Infrastruktur ist auch im Luftverkehr die zentrale Voraussetzung für ein zuverlässiges Verkehrssystem. Hierbei nehmen die Flughäfen eine entscheidende Rolle ein, da insbesondere in Europa die Kapazität vielfach durch das Pistensystem limitiert wird. Ausreichende Kapazitäten am Boden sind am Start- und Zielort angezeigt. Hier sind jedoch in der heutigen, stark dem Hub-and-Spoke-System entsprechenden Flughafeninfrastruktur in Europa hohe Defizite erkennbar. Ein Ausbau der Hubs Frankfurt und München sowie Berlin ist zur Befriedigung der absehbaren langfristigen Nachfragesteigerung von 3-6% pro Jahr unabdingbar. An den existierenden Hubs sind Kapazitätsengpässe bereits seit Jahren durch kritische Pünktlichkeitswerte (zeitweiliger Betrieb oberhalb der praktischen Kapazität) zu verzeichnen. Durch Kapazitätsbeschränkungen bedingte Beeinträchtigungen der Zuverlässigkeit sollten – soweit standörtlich vertretbar – durch Anpassungen der Betriebsformen und gegebenenfalls durch Ausbau abgebaut werden.

Ausbauvorhaben sind im Falle Frankfurt (neue Landebahn) und Berlin-International nun laufend sowie im Falle München (3. Start-/Landebahn) angestoßen, allerdings in ihrer Umsetzung sehr aufwändig, um zeitnahe Reaktionen zu gestatten. Noch immer dauert die Planung und Realisierung der Erweiterung eines Flugplatzes häufig weit mehr als 5 Jahre in Deutschland (d. h. Inbetriebnahme einer neuen Bahn oft erst mehr als 10 Jahre nach Planungsbeginn).

#### **5.3.1 Start- und Landebahnen**

Die praktische Kapazität der Start- und Landebahn wird im Wesentlichen von zwei Faktoren beeinflusst: Zum einen von der Bahnbelegungszeit eines startenden bzw. landenden Luftfahrzeuges. Hintergrund hierzu ist die Sicherheitsstrategie, immer nur ein Luftfahrzeug zu einer Zeit auf der Bahn zu gestatten. Zum anderen hängt die Bahnkapazität von der Intervallzeit ab, also vom zeitlichen Abstand zweier die Bahn nacheinander nutzender Luftfahrzeuge. Diese hängt offensichtlich direkt von der o. g. Staffelung der Luftfahrzeuge durch die Flugsicherung ab.

Da die Staffelung aufgrund der Gefahr des Auftretens von Wirbelschleppen im An- aber auch Abflugbereich häufig höher (mehr als bis zu doppelt so hoch) als im Streckenbereich liegt, sind hinsichtlich des Fluggerätes möglichst gleichartige Verkehrsteilnehmer an hoch belasteten Flughäfen zu realisieren, um die verfügbare Kapazität der Start-/Landebahn maximal auszuschöpfen. Dies ist maßnahmensseitig dadurch herbeizuführen, dass insbesondere kleines Fluggerät, das typischerweise

der Privatluftfahrt zuzuordnen ist und der große Wachstumsraten vorhergesagt werden, von diesen Plätzen fernzuhalten ist. Dieser Trend, der politisch über entsprechende Gebührenregelungen (Landegebühren, Parkgebühren) zu steuern ist, wird auch bereits an den genannten Hubs bereichsweise angewandt. Eine entsprechende Ausdehnung und Akzentuierung auf weitere Flughäfen wie Düsseldorf, Nürnberg, Hamburg ist zu empfehlen. Aus Unternehmenssicht könnte dieses Verfahren durch die verstärkte Bildung von Flughafenensystemen beschleunigt werden.

Weiterhin hat neben der absoluten Anzahl an Start- und Landebahnen auch eine ausreichende Anzahl an Abrollwegen Einfluss auf die Kapazität, da hierdurch die Verweilzeiten auf der Bahn minimiert werden können. Hinsichtlich der Start- und Landebahn sei darauf verwiesen, dass die vorgenannte „betriebliche Unabhängigkeit“, d. h. keine Erfordernis der Staffelung zwischen Luftfahrzeugen, die die jeweils andere Bahn nutzen, nur bei paralleler Lage und zudem einem Achsabstand von mindestens 1.035 m gegeben ist. Kreuzende Bahnen sind von daher und insbesondere in Deutschland aufgrund vorrangiger Ost-West Windsituation und Topografie zukünftig planerisch gänzlich zu vermeiden: Der zunächst hohe erforderliche Flächenbedarf für unabhängige Start- und Landebahnen rechnet sich über das deutliche Mehr an realisierbarer Kapazität und ist insbesondere für Hubflughäfen als alternativenlose Maßnahme im Falle von Erweiterungen einzustufen. Parallel ist die Flugtechnik in diesem Bereich stark fortschreitend, so dass erwartet werden kann, dass diese Mindestabstände zukünftig sinken werden. Dieser Technologiefortgang ist durch geeignete Forschung in Deutschland zu flankieren, da er ökologisch und verkehrlich in hohem Maße effizient ist.

Schließlich sollten umfassende Sicherheitsanalysen angestoßen werden, um zu prüfen, inwieweit eine simultane Bahnnutzung durch zwei Luftfahrzeuge bzw. dreifach parallele Starts und Landungen (wie im Falle des Ausbaus Flughafen München dann faktisch vorliegend) eingeführt werden kann. Diese Maßnahme würde eine erhebliche Kapazitätssteigerung zur Folge haben.

### **5.3.2 Allwettertauglichkeit**

An- und insbesondere Abflüge dürfen nur bei Gewährleistung von Mindestwerten für die Sicht durchgeführt werden. Fällt die Sicht unter die für eine Bahn zugelassenen Werte, so ist keine Nutzung mehr möglich, aufwändige Umleitungen zu Ausweichflughäfen mit einer völligen Unterbrechung zahlreicher Flugzeugumläufe sind die kostenintensive und Umwelt belastende Folge. Eine hohe technische Ausstattung der Landebahnen zum Erlangen von Allwettertauglichkeit stellt einen weiteren Baustein für die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems aufgrund dann hoher meteorologischer Unabhängigkeit dar.

Diese Tauglichkeit wird zurzeit über die Bereitstellung eines „wetterunempfindlichen“ Instrumentenlandesystems zumindest in Hauptlanderichtung technologisch erreicht. Die Flughäfen sind zu motivieren und auch zu fördern, diese im Millionenbereich liegenden Investitionen tätigen zu können. Leasingverträge, ausgereicht von möglichen Infrastrukturbetreibergesellschaften, die u. U.

zukünftig unabhängig von der Deutschen Flugsicherung GmbH nach realisierter Deregulierung am Markt agieren können, könnten hier strategisch als innovatives, die Ausrüstung beschleunigendes Konzept gewählt werden. Gleiches gilt für den Bodenrollverkehr, dessen Überwachung und Steuerung auf Vor- und Rollfeld über innovative Sensorik und Datenübertragung noch weiter von aktuellen Sichtbedingungen entkoppelt werden muss.

#### **5.4 Umgebender Luftraum und Umweltauflagen**

Die Abflugkapazität ist neben der Staffelung der Luftfahrzeuge auch von der individuellen Wahl der Abflugroute abhängig: Nutzen zwei folgende Luftfahrzeuge unterschiedliche Routen, so stellt sich quasi kurz nach dem Start die Staffelung „von selbst“ ein. Von daher ist die Vorhaltung von Standardabflugrouten in ausreichender Anzahl (und möglichst kreuzungsfrei) ein weiterer Baustein zur Zuverlässigkeitssteigerung des Luftverkehrssystems. Die Implementierung derartiger Routen ist insbesondere in Deutschland mit Blick auf den Fluglärm allerdings ein sensibler Vorgang. Sie hängt auch von der Geometrie des Pistensystems ab. Diesem Aspekt ist bei der Wahl von Lage und Länge neu zu planender Start- und Landbahnen besonders Rechnung zu tragen. Gleiches gilt für den Anflugbereich, in dem - zunächst auf die Hubs beschränkt - computergestützt mit Hilfe sogenannter „Arrival Manager“ Reihenfolgen der Luftfahrzeuge für den Endanflug auf die Landebahn errechnet und dem Fluglotsen zur Umsetzung empfohlen werden, um über der Landebahnschwelle in Abhängigkeit des geplanten Anflugverkehrs möglichst dauerhaft minimale Intervallzeiten zur Maximierung der Kapazitätsausschöpfung zu erreichen. Dies gelingt jedoch nur, wenn diese Systeme ausreichende „Lösungsräume“ zur Führung der Luftfahrzeuge auf dem kapazitiv sensiblen Endanflug zur Verfügung haben. Hierzu haben sich in S-Form ausgestaltete Anflugroutenführungen, so genannte "Trombone-Verfahren" an den Flughäfen Frankfurt und München als höchst effizient erwiesen, da hierdurch eine Vielzahl an Optionen für den Fluglotsen gegeben ist, die Luftfahrzeuge optimal auf dem kapazitätskritischen Endanflug zu platzieren. An weiteren Plätzen sind diese Verfahren zwar implementiert. Sie werden jedoch aufgrund noch fehlender Systemunterstützung kaum genutzt. Dort liegt weiteres Potential zur Steigerung der Zuverlässigkeit.

#### **5.5 Flugplankoordinierung**

Wie ausgeführt, werden im Luftverkehrssystem Flughäfen ab einer gewissen Nachfrage zentral koordiniert. In Deutschland übt diese Funktion der Flughafenkoordinator der Bundesrepublik Deutschland im Auftrag des BMVBS durch Ausgabe von Zeitfenstern für Starts oder Landungen, sog. Slots aus. Die starke Belastung des deutschen Flughafennetzes wird aus der Anzahl von in 2006 bereits 17 (bei separater Wertung der 3 Berliner Flughäfen) koordinierten bzw. voll koordinierten Flughäfen deutlich. Die Koordinierungspflicht fußt auf der EG-Richtlinie 793/2004, ergänzt um Richtlinie 95/93/EWG und ist darüber für alle ICAO Mitgliedsstaaten verbindlich. Die Aushandlung der nationalen Interessen erfolgt international durch die saisonalen IATA-Flugplankonferenzen.

Die aktiven Verfahren hierzu sind prinzipiell geeignet, eine hohe Zuverlässigkeit des Verkehrssystems durch Vermeidung von Überlastungssituationen an Flughäfen (und im weiteren auch im Luftraum durch ähnlich regulierte Luftraumsegmente) zu gewährleisten. Allerdings sind die Regulierungshintergründe der Flughafenkoordination nur bereichsweise diesem betrieblichen Ziel zugeordnet, wie Kap. 5.1 ausführt. Derartige Umwidmungen des Koordinierungsinstrumentariums schwächen durch künstlich knappe Kapazitäten die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems und sind zu vermeiden.

## **5.6 Verkehrsflusssteuerung**

Neben der Koordinierung von Einzelflügen erfolgt im Luftverkehr zudem auch grenzüberschreitend eine Mengensteuerung des Verkehrs durch die CFMU für den europäischen Luftraum. Sie koordiniert und berechnet die Slotvergabe europaweit und liefert - wie ausgeführt - einen bedeutsamen Beitrag zur Steigerung der Zuverlässigkeit im Luftverkehr. Allein die CFMU Steuerungsanweisungen scheinen für einzelne Funktionsblöcke insbesondere um Hubflughäfen noch zu undifferenziert. Eine verbesserte Berücksichtigung lokaler Nutzungsstrategien insbesondere mit Blick auf die stetig steigende Automatisierung in der Steuerung des Verkehrs ist anzustreben. Auch sollten den Luftraumnutzern mehr Mitspracherechte im Fall von unvermeidbaren Kontingentierungsmaßnahmen aufgrund zu hoher Nachfrage eingeräumt werden. Jene können am besten abschätzen, welche unternehmerischen Konsequenzen für die jeweils Betroffenen resultieren und somit die betriebswirtschaftlichen Schäden minimieren. Diese grundsätzlich auch im Betriebskonzept für den "Single European Sky" niedergelegte Zielsetzung ist durch aktive Flankierung der zukünftigen Tätigkeiten des hierzu neu gegründeten Gemeinschaftsunternehmens „JU SESAR“ seitens der Bundesregierung über die nationalen Industrievertreter sicherzustellen.

## **6 Verkehrsträger übergreifende Handlungsfelder**

Aus der Darstellung der Risiken, die die Zuverlässigkeit von Verkehrssystemen beeinträchtigen können, ergibt sich auch der Spielraum, mit dem sich die Zuverlässigkeit der Verkehrssysteme steigern lässt. Die Ansatzpunkte sind - wie zuvor beschrieben - vielfach eng an die spezifischen Eigenarten der Systeme gebunden. Es ergeben sich jedoch auch folgende allgemeinere Handlungsfelder.

### **6.1 Intermodalität**

Intermodalität bedeutet, dass auf dem Weg zwischen Startpunkt und Ziel die genutzten Verkehrsmittel gewechselt werden, um die spezifischen Systemvorteile der Verkehrsmittel auszuschöpfen.

Die Bedeutung intermodaler Reiseketten im Personenverkehr wie auch intermodaler Transportketten im Güterverkehr steigt unter den Anforderungen der Effizienz der Gesamtverkehrssysteme, der Kostenminimierung von Transporten, aber auch der Verringerung von verkehrsbedingten

Umweltbelastungen. Diese Bedeutung wird in Zukunft stark zunehmen. Die Ausschöpfung intermodaler Optionen schafft im Gesamtverkehrssystem vielfach Redundanzen der Verkehrs- und Transportangebote. Sie kann damit unter Umständen Teilverkehrssysteme in überlasteten Teilbereichen entlasten und zur Steigerung von deren Zuverlässigkeit beitragen.

Intermodale Reise- oder Transportketten haben insofern besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der (intermodal) verknüpften Teilsysteme und an Anlagen und Betrieb der Verknüpfungspunkte (z. B. Bahnhöfe an Flughäfen, Anlagen des Kombinierten Ladungsverkehrs, Seehäfen, Binnenhäfen, Flughäfen, aber auch Fernbahnhöfe, Güterverkehrszentren) als Netze und Betriebsweisen unterschiedlicher System- und Betriebscharakteristika verknüpft werden. So unterscheiden sich Größen von Transporteinheiten, Transportentfernungen, Transporthäufigkeiten in den verknüpften Systemen. Als Folge kommt den intermodalen Knoten eine besondere Sammel-, Verteil- aber auch Servicefunktion zu.

Die Funktionsfähigkeit intermodaler Verkehrs- bzw. Transportsysteme setzt eine gleichwertige Zuverlässigkeit voraus

- im Zulauf und Ablauf durch monomodale Verkehrsträger (im Fernverkehr also Straße, Schiene, Binnenwasserstraße, Seeverkehr oder Luftverkehr; im Regionalverkehr als regionaler Straßenverkehr, SPNV, ÖPNV oder auch als nichtmotorisierter Verkehr),
- in den internen Abläufen der intermodalen Knoten mit Ausladen, Umladen, Abstellen/Lagern, Behandlung/Dienstleistung, Umsteigen, Warten, Reiseservices usw.

Die intermodale Zuverlässigkeit wird letztlich durch das schwächste Glied der Gesamtkette vom Startpunkt bis zum Ziel bzw. der Teilkette im/am intermodalen Verknüpfungspunkt bestimmt.

Aufgrund unterschiedlicher Größen der Transporteinheiten wie auch unterschiedlicher Häufigkeiten („Takte“) der Transportangebote können Störungen im Zulauf mit „sprunghaften“ Veränderungen von Transportzeiten und Transportkosten vieler Transportgüter oder Fahrgäste in den anschließenden Teilketten verbunden sein. Eine Zugverspätung am Fähr-Terminal bedeutet bei nicht ausreichenden Reserven in den Übergangszeiten beispielsweise, dass entweder die Gesamtheit der anderen Fährpassagiere Verspätungen hinnehmen muss oder die Umsteiger aus dem Zug auf die nächste Fähre (mehrere Stunden, am nächsten Tag oder erst nach mehreren Tagen) warten müssen. Dies gilt im Zugang zu Flughäfen oder zu Fernbahnhöfen oder zu Anlagen des Kombinierten Ladungsverkehrs, zu Cargo-Flughäfen oder zu Güterbahnhöfen im gleichen Sinne.

Bei großen Mängeln der Zuverlässigkeit im Zu- oder Ablauf oder auch in der Abwicklung der intermodalen Knoten werden die intermodalen Verlagerungspotenziale nicht oder nur teilweise ausgeschöpft. Soll dies vermieden werden, sind möglichst

- einseitige Erschließungen intermodaler Knoten zu vermeiden und netzförmige Einbindungen zu bevorzugen,



- Zu- und Abläufe an neuralgischen Knoten und auf neuralgischen Strecken mit Leistungsreserven zu versehen und entsprechend auszubauen,
- ein intermodales Verkehrsmanagement in den Zu- und Ablaufbereichen einzurichten und optimiert zu betreiben,
- Verknüpfungsknoten einem stringenten Verkehrs- und Betriebsmanagement zu unterziehen,
- intermodale Knoten mit Reservekapazitäten für Umsteige-, Umlade- oder Umstellanlagen sowie mit optimierten Betriebssystemen auszugestalten. Gegebenenfalls sind Lager-, Wartekapazitäten mit entsprechenden Servicebereichen vorzuhalten,
- eine Minimierung von Reisezeiten bei der Systemkonzeption durch eine Maximierung der Zuverlässigkeit zu ersetzen.

Intermodale Transport- bzw. Reiseangebote erhöhen auf der einen Seite Kapazitäten des Gesamtverkehrssystems und fördern damit die Zuverlässigkeit, haben aber durch die beschränkte Anzahl von Verknüpfungspunkten besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit in Zugangs- und Abgangsnetzen sowie in den Verknüpfungspunkten selbst.

## 6.2 Nachfragemanagement

Einschränkungen in der Zuverlässigkeit von Fernverkehrssystemen sind vor allem räumlich und zeitlich konzentriert dort festzustellen, wo die Verkehrsbelastung, d. h. die Verkehrsnachfrage die Kapazitäten nahezu erreicht oder sogar übersteigt. Diese Ausgangslage lässt zur Verbesserung der Zuverlässigkeit neben der Bereitstellung erweiterter Kapazitäten durch Ausbau vor allem auch eine Beeinflussung der räumlichen, zeitlichen und gegebenenfalls modalen Verkehrsnachfrage als mögliche und geeignete Instrumente erscheinen.

Nachfragemanagement setzt bei der Prüfung an, ob bestimmte Verkehrsvorgänge überhaupt erforderlich sind, ob sie zu der bisher gewählten Zeit und mit den bisher bevorzugten Zielen und Wegen unabdingbar sind oder ob andere Verkehrsmittel („modale Verkehrsträger“) gewählt werden können. Zu einem Nachfragemanagement in diesem Sinne tragen bei

- a) verkehrsvermeidende Siedlungsstrukturen sowie verkehrsvermeidende Standortmuster von großen Verkehrserzeugern wie große Arbeitgeber, Einzelhandelszentren / Verbrauchermärkte, Messen, Großeinrichtungen und Großevents der Freizeit, Universitäten usw.,
- b) Veränderungen von Zeitorganisation und Zeitregelungen (Öffnungszeiten, Betriebszeiten, Vor-/Nachprogramme von Veranstaltungen, Arbeitszeiten, Ferienregelungen ...),
- c) zeitabhängige Preisstrukturen der Verkehrsangebote (Schienenverkehr, Luftfahrt) und der Infrastrukturnutzungen (belastungsabhängige Maut, Entgelte, Preise) als Anreize zur zeitlichen Verlagerung von Verkehrsnachfrage und zur zeitabhängigen Fahrzeugauslastung und Verkehrsmittelwahl,

- d) selektive Nutzungsverbote von Verkehrsanlagen, z. B. nach Fahrtzwecken, Fahrzeugauslastung, Fahrzeugcharakteristik,
- e) Informationen über Verkehrszustände (Verkehrsmanagement, Verkehrslenkung) und Empfehlungen zur Vermeidung von Spitzenzeiten oder Belastungsbereichen.

Die raum- und standortstrukturellen Maßnahmen sind nur langfristig wirksam. Sie sollten jedoch dazu führen, dass bei jedem Ansiedlungsvorhaben dessen verkehrliche Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit überprüft werden.

Die Gesamtheit der übrigen Maßnahmen können als „integriertes Mobilitätsmanagement“ bezeichnet werden, das vermehrt Verkehrsnachfragebeeinflussungen in den Fokus der Betrachtungen stellt. Es handelt sich überwiegend um „weiche“ Maßnahmen der Verkehrsorganisation, der Mobilitätsdienste, der ökonomischen und sonstigen Anreize, der Verkehrs- und Mobilitätsinformation. Diese können raumbezogen und standortbezogen, verkehrsteilnehmergruppenbezogen oder auch bezogen auf einzelne Verkehrsmittel adressiert werden.

Die auf kommunaler und regionaler Ebene, auf der Ebene von Einzeleinrichtungen (z.B. „betriebliches Mobilitätsmanagement“) oder von einzelnen Nutzergruppen vorliegenden Erfahrungen müssen vermehrt auf den Fernverkehr übertragen werden. So könnten beispielsweise veränderte Staffellungen von Ferienzeiten, veränderte Organisation der Gastwechsel in Feriendomizilen zu Entlastungen von ferienverkehrsbedingten Verkehrsspitzen und damit zur Erhöhung von „Zuverlässigkeit“ im Fernverkehrssystem beitragen. Dies gilt entsprechend für Anfangszeiten von Großveranstaltungen. Ebenso könnten verstärkt Angebote zu stauvermeidenden Routen- und Fahrzeitempfehlungen bereitgestellt und durch ökonomische Anreize („Strecken-Maut“) unterstützt werden.

### **6.3 Gestaltung der Infrastrukturen**

Bei der Gestaltung der Verkehrsnetze kommt es darauf an, zu starke Konzentrationen der Verkehrsflüsse an einzelnen Punkten zu vermeiden und alternative Führungen der Verkehrsflüsse zu ermöglichen. An Knoten, die eine hohe Konzentration der Verbindungen im Netz aufweisen, pflanzen sich Störungen zwischen allen angeschlossenen Strecken fort. Eine Störung des Knotens beeinträchtigt alle angeschlossenen Strecken. So ist aus Gründen der Sicherheit und Zuverlässigkeit einer übermäßigen Konzentration an Hubs vorzubeugen. Dies gilt sowohl für große Flughäfen wie auch für zentrale Eisenbahnknoten.

In allen Teilverkehrssystemen können die Wirkungen von Störungen gemindert werden, wenn Alternativen für die Durchführung der Verkehre vorgehalten werden. Deswegen ist es wünschenswert, bei der Planung der Verkehrsnetze darauf zu achten, dass Redundanzen in Form von Ausweichstrecken in hochbelasteten Netzabschnitten geschaffen und aufrecht erhalten werden und dass mit der Festlegung von Mindeststandards nicht erhebliche Störungen bei Wartungs-, Reparatur- und sonstigen Arbeiten in Kauf genommen werden.

Bei der Beurteilung von Neu- oder Ausbaumaßnahmen für zentrale Knoten oder Strecken sollte daher auch das Ausfallrisiko mit einbezogen werden, wodurch Risiko mindernde Maßnahmen – wie etwa alternative Routen oder Umschlageneinrichtungen – als wirtschaftlich sinnvoll erscheinen können und in die Vorhaben integriert werden sollten.

Bei der Planung von Neubau-, Ausbau- oder Erneuerungsvorhaben sollten tendenziell Bauweisen mit hoher Lebensdauer bevorzugt werden. Dies bedeutet, dass in die monetäre Beurteilung der Vorhaben und deren Bauformen vor allem die Erneuerungshäufigkeit („Zyklen“) bzw. deren Verringerung und die aus den Bauphasen resultierenden Staukosten gesamtwirtschaftlich einkalkuliert werden. Es werden daher Lebenszyklusbetrachtungen auch unter Aspekten der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems anzustellen sein.

#### **6.4 Instandhaltung und Investitionsplanung**

Naturgemäß nehmen die Ausfallrisiken auf der Seite der Infrastruktur mit zunehmendem Alter der Bauwerke zu. Es ist bekannt, dass die Baulastträger große Sorgfalt darauf verwenden, Schäden so frühzeitig wie möglich zu erkennen, damit Instandsetzungs- und Pflegemaßnahmen eingeleitet werden können. Diese Sorgfalt darf unter dem Diktat knapper öffentlicher Budgets nicht nachlassen. Statt dessen sind diese Bemühungen zu steigern und moderne Monitoring- und Managementmaßnahmen zur Beherrschung der Ausfallrisiken einzuführen. Häufige Notreparaturen, notdürftiges Flicken statt der erforderlichen Grundsanierung führen zu deutlich mehr und volkswirtschaftlich nicht zu vertretenden Behinderungen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass große Teile des Straßennetzes und noch mehr des Eisenbahnnetzes ein Alter erreicht haben, in dem die Instandhaltung zur Sicherung der zuverlässigen Funktionsfähigkeit vordringlich ist. In den letzten beiden Jahrzehnten ist diesem Aspekt bei der Investitionsplanung mit Ausnahme des Luftverkehrs nicht ausreichend Rechnung getragen worden, sodass sich sowohl die Qualität als auch die Zuverlässigkeit der Netze im Straßen- und Eisenbahnwesen verschlechtert haben. Daraus folgt ein erheblicher Nachholbedarf an Instandhaltung, der Vorrang vor großen Neubauvorhaben erhalten sollte.

#### **6.5 Planungsinstrumente**

Ganz generell verdient das Ziel der Zuverlässigkeit einen vorrangigen Stellenwert bei den Entscheidungen über die Ausbauplanung und die Betriebssteuerung der Verkehrssysteme. Hierbei besteht vor allem ein Nachholbedarf in den Grundlagen der etablierten Planungs- und Managementinstrumente. Die dort angewendeten Methoden sind so weiterzuentwickeln, dass volkswirtschaftliche Schäden aus Störungen im Betriebsablauf bei allen Verkehrssystemen erkennbar werden. Diese sind mit den Kosten für Maßnahmen zur Minderung solcher Schäden auf allen Planungs- und Entscheidungsebenen zu vergleichen, damit angemessene Schritte zur Sicherstellung und Verbesserung der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems ermöglicht werden.

## **7 Zusammenfassung und Kernempfehlungen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit**

Unter der Zuverlässigkeit eines Verkehrssystems ist die Wahrscheinlichkeit zu verstehen, dass alle Elemente des Systems den Nutzern störungsfrei zur Verfügung stehen. Wegen der vielfältigen Störungsmöglichkeiten ist das Erreichen einer hohen Zuverlässigkeit eine komplexe Aufgabe. Diese Aufgabe gewinnt mit der zunehmenden Auslastung der Verkehrssysteme eine maßgebende Bedeutung. Der Wissenschaftliche Beirat hält die Verbesserung der Zuverlässigkeit in allen Teilverkehrssystemen für ein vorrangig zu verfolgendes Ziel, dem in der Verkehrspolitik und auf allen Ebenen der Planung und der Durchführung des Verkehrs ein höheres Gewicht beigemessen werden soll.

Im Straßenverkehr kann der stärkste Gewinn an Zuverlässigkeit durch gezielte Ausbaumaßnahmen örtlich begrenzter Engpässe erreicht werden. Ein anderer wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Zuverlässigkeit des Verkehrs auf den Autobahnen ist eine Verkürzung der Zeiten für Arbeitsstellen. Auch das verbesserte Management von Störungen (schnelle Räumung von Unfallstellen und kurzfristige Beseitigung liegengebliebener Fahrzeuge) leistet einen wesentlichen Beitrag. In den Bewertungsverfahren für geplante Straßenbaumaßnahmen muss der Aspekt der Zuverlässigkeit eine vorrangige Bedeutung erhalten.

Im Personenfernverkehr der Eisenbahn wird die Pünktlichkeit der Züge als ein besonders wichtiges Qualitätskriterium angesehen, dem im Konfliktfall der Vorrang vor geringfügigen Verkürzungen der Fahrzeit im Fahrplan gegeben werden sollte. Deshalb sind Zeitreserven im Fahrplan zum Abfangen von Verspätungen von großer Bedeutung. Im Falle eingetretener Störungen (z. B. Streckensperrungen, Baumaßnahmen) sind Redundanzen im Netz (Umleitungsstrecken, Überholgleise, Überleitungsmöglichkeiten) entscheidend, um die Folgen begrenzen zu können. Diese Bedeutung sollte bei der planerischen Bewertung des Streckennetzes stärker gewichtet werden. Ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der Netzkapazität und damit zur Steigerung der Betriebsstabilität ist die Entmischung von schnellen und langsamen Zügen (Netz-21-Konzept). Diese Strategie soll bei der weiteren Entwicklung des Eisenbahnnetzes eine hohe Priorität erhalten. Die Zuverlässigkeit kann auch dadurch gefördert werden, dass das Trassenpreissystem stärkere Anreize bietet, zuverlässige technische Systeme - sowohl auf Seiten der Infrastruktur als auch bei den Eisenbahnverkehrsunternehmen - einzusetzen.

Die Zuverlässigkeit im Luftverkehr kann vor allem durch kapazitätssteigernde Maßnahmen an den hoch belasteten Flughäfen gesteigert werden. Dazu gehören insbesondere beschleunigte Genehmigungsverfahren für notwendige Erweiterungsmaßnahmen. Aber auch verbesserte An- und Abflugverfahren, eine stärkere Unabhängigkeit im Betrieb benachbarter Start- und Landebahnen sowie sichtunabhängige Rollführung der Luftfahrzeuge am Boden können zur Kapazitätssteigerung

---

beitragen. Die darauf gerichteten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollten gefördert werden. Auch die Bereitstellung exakterer Wetterdaten trägt zur Planungssicherheit des Luftverkehrs bei. Bei internationaler Sicht vermag es die konsequente Umsetzung des "Single European Sky", die Zuverlässigkeit des Luftverkehrs zu steigern.

Durch eine Ausrichtung der Verkehrspolitik auf eine hohe Zuverlässigkeit des Verkehrssystems kann dessen Leistungsvermögen verbessert werden. Der Einsatz der dafür aufgewendeten Mittel wird als besonders effizient eingeschätzt.