

---

# **Verbundprojekt SKRIBT**

## **Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen**

### **Verkehrsbezogene Objektanalyse**

#### **Öffentliche Fassung**



Gefördert durch:

Bundeministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin

Projektträger:

VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

**Bearbeitet von:**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Lehrstuhl für Psychologie I, Julius-Maximilians-Universität Würzburg (UW)

PTV Planung Transport Verkehr AG (PTV)

**Dieser Bericht enthält in der Originalfassung sensible Inhalte, die aus der vorliegenden öffentlichen Fassung entfernt wurden.**

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Modellgrundlagen .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Verortung der Bauwerksdaten .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Bestimmung der Kritikalität von Bauwerken .....</b>	<b>7</b>
4.1	Rahmenbedingungen, Verfahren und Kenngrößenermittlung .....	7
4.2	Berücksichtigung dynamischer Aspekte .....	8
<b>5</b>	<b>Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Entwicklung eines Kritikalitätsmaßes .....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit.....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>16</b>

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Verbund-Forschungs-Projekts SKRIBT soll die Kritikalität als Maß für die „Konsequenzen bei einem Ausfall von Bauwerken in der Folge von Initialereignissen („Top-Events“) anhand von vier Wirkungsbereichen ermittelt werden:

- Standfestigkeit und Verkehrssicherheit der Bauwerke
- Betroffenheit der Nutzer
- verkehrliche Aspekte
- Symbolik der Bauwerke.

In der verkehrsbezogenen Objektanalyse werden ausschließlich die verkehrlichen Aspekte des Teil- oder Komplettausfalls von Bauwerken untersucht. Dabei zeigt sich, dass Mehrreisezeiten als Resultat aus einem reduzierten Angebot, verfügbaren Alternativrouten mit ihren Kapazitäten und der aktuell gegebenen Nachfrage die adäquate Größe darstellen, um die Kritikalität in verkehrlicher Hinsicht zu beschreiben. Der vorliegende Bericht gibt eine detaillierte Herleitung des Berechnungsverfahrens und liefert Ergebnisse für eine Gesamtheit von ca. 150 Bauwerken. Durch die Vielzahl der Berechnungen können für entsprechende Häufigkeitsverteilungen das Kritikalitätsmaß gesetzt und damit kritische Bauwerke bestimmt werden.

Die Zusammenführung der Teilergebnisse aus den vier genannten Wirkungsbereichen, z. B. in Form einer Nutzwertanalyse, ist nicht Bestandteil der Arbeiten und somit nicht Teil der Dokumentation im Bericht „Verkehrsbezogene Objektanalyse“.

## 2 Modellgrundlagen

Die Untersuchung zur Kritikalität von Bauwerken wird mit Hilfe eines Verkehrsmodells durchgeführt. Es gilt zu ermitteln, wie Bauwerke, Tunnel oder Brücken, im Falle einer Zerstörung oder einer deutlichen Beeinträchtigung ihrer Leistungsfähigkeit bezüglich ihrer verkehrlichen Auswirkungen zu bewerten sind. Aufgrund der angestrebten Zahl von zu untersuchenden Bauwerken sollte das Verfahren so weit wie möglich automatisiert werden.

Die Untersuchung wird exemplarisch für Nordrhein-Westfalen durchgeführt, da für dieses Bundesland bereits in früheren Entwicklungsarbeiten eine gute Georeferenzierung von Bauwerken im Straßennetz erreicht werden konnte. Als Basis für die Abschätzung der verkehrlichen Relevanz der einzelnen Bauwerke wird aus dem PTV-eigenen deutschlandweiten Straßennetz- und Verkehrsdatenmodell PTV VALIDATE ein Teilnetz generiert, das neben dem Verkehrsangebot auch die Verkehrsnachfragematrix des Raumes enthält. Durch die Umlegung der Verkehrsnachfragematrix auf das Straßennetz werden Verkehrsbelastungen ermittelt; zahlreiche weitere Auswertungen, wie z. B. die Betrachtung von Verkehrsleistung und Verkehrsbeteiligungsdauer, die Auslastung von Netzelementen etc., sind möglich. Der verwendete Ausschnitt des Teilnetzes wird so gewählt, dass ein weiträumiges Ausweichen des Verkehrs auf Alternativrouten richtig abgebildet werden kann.

### 3 Verortung der Bauwerksdaten

Die wichtigste Voraussetzung für die automatisierte Berechnung der Kritikalität von Bauwerken bildet ihre Verortung in dem Netzmodell VALIDATE. Durch die Verortung wird der Zusammenhang zwischen der geographischen Lage der Bauwerke, gegeben durch die geographischen Koordinaten, und dem Netzmodell hergestellt.

Für die vorliegende Untersuchung stehen Bauwerksdaten aus Nordrhein-Westfalen zur Verfügung, die zunächst zur Aufbereitung in das Programm SIB-Bauwerke (Straßen Informationsbank-Bauwerke) importiert werden. Die Bauwerksdaten liefern Informationen zu Bauwerken, zugehörigen Teilbauwerken, Bauwerksart, GIS-Zuordnung, Sachverhalten (Objekte unter, über oder entlang des Bauwerks verlaufen wie bspw. Flüsse, Täler, Straßen etc.), Netzzuordnung, Bauwerkslänge und Durchfahrtshöhen. Aus den Rohdaten werden die Brücken und Tunnel herausgefiltert. Teilbauwerke, wie z. B. Lärmschutz- oder Stützbauwerke, werden eliminiert. Des Weiteren werden Datensätze ohne Koordinaten oder Lageinformationen aussortiert. Nach Aufbereitung der Daten stehen ca. 6.100 Bauwerke mit rund 16.500 Sachverhalten für die Verortung zur Verfügung (vgl. Tabelle 1). Im nächsten Schritt werden aus der Datenbank auf der Basis von Sachverhalten die jeweiligen Koordinaten und die Attribute Bauwerksnummer, Teilbauwerks-

nummer und -name, Sachverhalt, Straßenklasse, Straßenummer sowie Lage exportiert und als sogenannte Points of Interest (POI) in das Netzmodell eingelesen.

Mit Hilfe eines VBA-Scripts (Visual Basic for Applications) werden den Points of Interest (POI) die zugehörigen Strecken im Netzmodell zugeordnet. Hierbei wird eine in dem Programm VISUM implementierte Funktion genutzt, die zu dem durch seine x/y-Koordinate charakterisierten POI die nächstgelegene Strecke sucht. Die maximal zulässige Entfernung der Strecke wird über den so genannten Fangradius angegeben. Eine Plausibilisierung der Zuordnung erfolgt über den Abgleich der POI-Attribute Straßenklasse und Straßenummer mit den entsprechenden Attributen des Netzmodells.

Als problematisch erweist sich die Tatsache, dass alle Teilbauwerke und Sachverhalte eines Bauwerks die gleichen Koordinaten aufweisen. Eine korrekte Zuordnung der Sachverhalte bei Richtungsfahrbahnen ist dadurch nicht möglich, da sich zwischen dem textuellen Richtungsbezug aus der Datenbank SIB-Bauwerke (z. B. Fahrtrichtung (FR) Köln) und den Informationen aus dem VALIDATE-Netz kein Zusammenhang herstellen lässt. In diesem Fall werden dem Gesamtbauwerk über ein mehrstufiges Verfahren eine Hin- und eine Rückrichtung zugeordnet.

Datenebene	Rohdaten	gefiltert	Verteilung			
Bauwerke	6.251	6.116				
			<b>Bauwerksart</b>			
Teilbauwerke	10.439	8.765	Brücken	8.683		
			Tunnel	82		
			<b>Lage</b>		<b>Straßenklasse</b>	
Sachverhalte	39.348	16.655	Entlang liegend	339	BAB	9.048
			Oben entlang liegend	15	B	3.518
			Oben liegend	9.465	L	2.146
			Unten entlang liegend	9	K	745
			Unten liegend	6.827	G	1.198

BAB = Bundesautobahn, B = Bundesstraße, L = Landesstraße, K = Kreisstraße, G = Gemeindestraße

Tabelle 1: Bauwerksdaten Nordrhein-Westfalen

Da die Georeferenzierung der Brückenbauwerke sehr genau vorliegt, ist die Verortung in den meisten Fällen erfolgreich. Schwierigkeiten bei der Verortung treten in folgenden Fällen auf:

- Die Zuordnung ist nicht möglich, wenn die Straßennamen im Netzmodell sich von dem Straßennamen in der SIB-Datenbank unterscheiden, weil z. B. der Streckenabschnitt zwei Bezeichnungen führt oder in jüngerer Zeit Umwidmungen von Straßen stattgefunden haben.
- Die Verortung von Bauwerken auf Rampenstrecken ist nicht möglich, da diese im Netzmodell keinen Straßennamen führen. Eine korrekte Verortung von Bauwerken in Autobahnkreuzen

(„Kleeblättern“) ist aufgrund der geringen Distanzen zwischen den einzelnen Strecken nur bedingt möglich.

- Schwierigkeiten ergeben sich zudem in Bereichen, bei denen im vorgegebenen Fangradius von 50 m Entfernung von den Bauwerken kein Streckennetz vorhanden ist.

Von den ca. 16.500 Sachverhalten können rund 60 % automatisch verortet werden. Damit steht für die Untersuchung ein hinreichend großer Stichprobenumfang zur Verfügung. In Abbildung 1 ist die Verortung eines Teils der Bauwerke in dem VALIDATE-Teilnetz dargestellt, für die im Weiteren die Kritikalität beispielhaft ermittelt wurde.

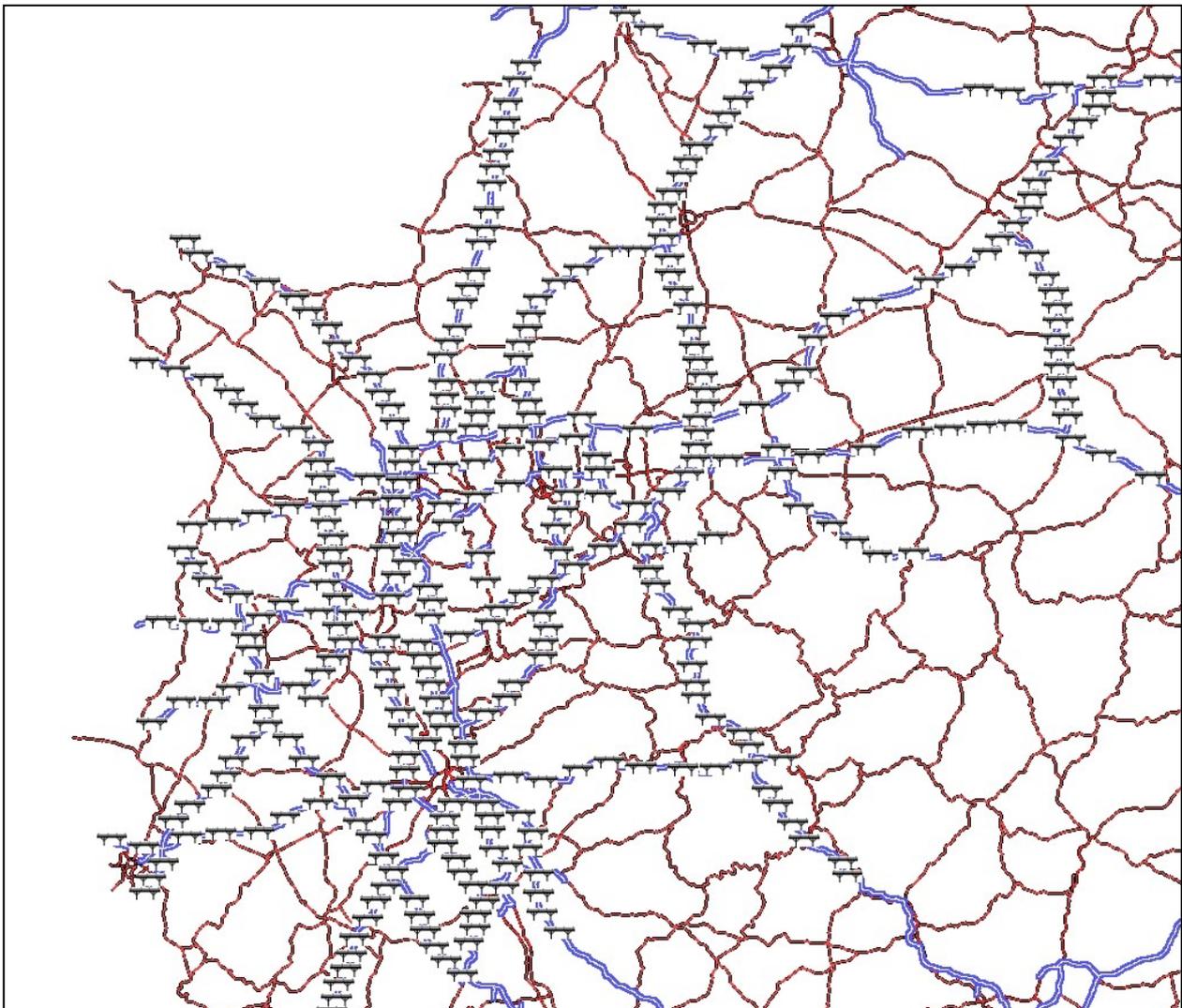


Abbildung 1: Verortung der Bauwerke im VALIDATE-Netz

## 4 Bestimmung der Kritikalität von Bauwerken

Die verkehrlichen Auswirkungen einer (Teil-)Sperrung von Brücken- oder Tunnelbauwerken werden auf der Basis von Umlegungsrechnungen ermittelt. Die Umlegung bildet von ihrem Berechnungsalgorithmus her den Zustand nach der Adaptionsphase der Beeinträchtigung durch die Verkehrsteilnehmer ab. Es wird davon ausgegangen, dass die Verkehrsteilnehmer schon bei der Abfahrt wissen, dass ihre normale Route durch einen Kapazitätsengpass beeinträchtigt bzw. gesperrt ist und daher in Abhängigkeit der Wegelänge (kleinräumig/überregional) zahlreiche neue Routen im Netz gewählt werden. Dieser Ansatz wird dadurch unterstützt, dass es sich bei den Sperrungen der Bauwerke um langfristige Maßnahmen handelt und der Verkehr sich nach einer bestimmten Zeit auf die neue Situation eingestellt hat. Insbesondere bei stark belasteten, überregional bedeutsamen Streckenabschnitten ist bei einer Sperrung mit weiträumigen Verlagerungswirkungen zu rechnen, die nur durch eine Umlegung abgebildet werden können. Die resultierenden Verkehrsverlagerungen lassen sich durch den Vergleich von Streckenbelastungen, Fahrzeugkilometern und Reisezeiten im Basis- (Normalbetrieb) und Mit-Fall (Situation der (Teil-)Sperrung) ermitteln. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden für die Umlegungsrechnungen des bauwerksspezifischen Mitfalls keine Änderungen des Verkehrsnetzes berücksichtigt, die als Reaktion auf die Sperrung des betrachteten Bauwerks umgesetzt werden könnten - wie beispielsweise die Einrichtung eines Fährverkehrs im Falle der Sperrung einer Flussbrücke.

### 4.1 Rahmenbedingungen, Verfahren und Kenngrößenermittlung

Bei der Bestimmung der verkehrlichen Kritikalität von Bauwerken gibt es verschiedene Dimensionen, die zu berücksichtigen sind:

- Differenzierung nach Straßen: In der Untersuchung werden Bauwerke entlang von Bundesautobahnen und Bundesstraßen betrachtet. Eine Betrachtung von Landes- und Kreisstraßen wird nicht vorgenommen.
- In den Anwendungsfällen wird eine Unterscheidung zwischen Vollsperrung und Teilsperre vorgenommen. Die Restkapazität auf der jeweiligen Strecke wird auf 0 % bzw. 50 % festgelegt.
- Bei der Betrachtung der Auswirkungen im Straßennetz sollen verschiedene Zeiträume berücksichtigt werden.

Alle genannten Dimensionen können in dem umlegungs-basierten Verfahren berücksichtigt werden. Die genaue Vorgehensweise ist in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Grundlage für die Untersuchung bildet das deutschlandweite Straßennetz- und Verkehrsdatenmodell VALIDATE mit Stand 2005. Damit steht ein detailliertes Netzmodell zur Verfügung, welches das Hauptstraßennetz mit allen verkehrsablaufrelevanten Attributen (Geschwindigkeit bei freier Fahrt, Kapazitäten, Fahrstreifenanzahl, Lage etc.) in Deutschland abbildet. Straßen des untergeordneten Verkehrsnetzes, die reinen Erschließungscharakter haben, bleiben unberücksichtigt. Neben dem Verkehrsangebot ist in VALIDATE die Verkehrsnachfrage in Form einer Quelle-Ziel-Matrix enthalten, die auf Basis von Verkehrszellen die mittleren, täglichen Wege der Bevölkerung im motorisierten Individualverkehr sowie den Schwerverkehr - Straßengüter- und Busverkehr - enthält.

Aus diesem großräumigen Modell wird ein Teilmodell mit den Basisdaten Straßennetz und Verkehrsnachfrage für den Untersuchungsraum abgeleitet und eine Umlegung durchgeführt. Dabei werden die Verkehrsströme der Quelle-Ziel-Matrix als Startlösung sukzessiv (tranchenweise) auf das Verkehrsnetz verteilt. Diese Verkehrsumlegung wird für den motorisierten Individualverkehr und den Schwerverkehr gerechnet. Mit steigender Verkehrsbelastung verändern sich die Reisezeiten auf den verschiedenen Routen, was zu einer neuen Routenwahl und letztendlich zu einem gleichmäßigen Verteilen des Verkehrs im Netz führt. Anschließend werden die Netzbelastungen in einer mehrstufigen Iteration in einen Gleichgewichtszustand überführt. Hierzu werden paarweise je zwei Routen einer Quell-Ziel-Beziehung durch Verlagerungen von Fahrzeugen ins Gleichgewicht gebracht, d. h. jede benutzte Alternativroute hat letztlich den gleichen, in der Regel fahrzeitbestimmten Widerstand. Diese Iteration folgt dem so genannten ersten Wardrop'schen Prinzip, das besagt, dass kein Verkehrsteilnehmer durch Wahl einer anderen Route seine Fahrzeit reduzieren kann. Als Ergebnis der Umlegung liegt der Basisfall mit dem durchschnittlichen werktäglichen motorisierten Individual- und Schwerverkehr richtungsbezogen für alle Streckenabschnitte vor. Er bildet den Vergleichsmaßstab für die Bewertung der Kritikalität, die im Rahmen einer Szenarienbetrachtung für die einzelnen Bauwerke untersucht wurde. Die Parameter des Modells sind durch umfangreiche empirische Daten kalibriert, während dessen Ergebnisse anhand einer Vielzahl von Zählwerten validiert wurden.

Bei der Untersuchung der verkehrlichen Auswirkungen einer Sperrung werden die Kapazität (maximale Verkehrsstärke, die der Straßenquerschnitt

aufnehmen kann) und die Geschwindigkeit auf dem Streckenabschnitt, der dem zu untersuchenden Bauwerk zugeordnet ist, entsprechend neu kodiert und anschließend die Verkehrsnachfrage im Netz neu verteilt („umgelegt“).

Es werden für jeden zu untersuchenden Sachverhalt zwei Zustände definiert und die Netzkodierung wie folgt vorgenommen:

- Vollsperrung: Die Kapazität und die Geschwindigkeit des entsprechenden Netzelements werden auf 0 gesetzt.
- Teilsperung: Die Kapazität des entsprechenden Netzelements wird – unabhängig von der Anzahl der Fahrstreifen – um 50 % reduziert. Die Anpassung der Geschwindigkeit erfolgt in Abhängigkeit der Geschwindigkeit im Basisfall:
  - > 80 km/h  
→ Reduktion auf 80 km/h
  - > 60 und ≤ 80 km/h  
→ Reduktion auf 60 km/h
  - ≤ 60 km/h  
→ Reduktion auf 40 km/h.

Als Kenngröße für die Bewertung der Kritikalität wird die absolute und relative Veränderung der Reisezeit im Netz im Vergleich Mit-Fall/Basisfall zugrunde gelegt. Grundsätzlich bieten sich zwei verschiedene Verfahren für die Bestimmung der Reisezeit an:

1. Umlegung des Basis- und des Mit-Falls im gesamten Teilnetz und Betrachtung der jeweiligen Gesamtreisezeit im Netz. Durch geringfügige Änderungen von Reisezeiten auf Strecken abseits der zu untersuchenden Maßnahme können jedoch Verkehrsverlagerungen auftreten, die das Ergebnis verfälschen.
2. Bei der Auswertung als Streckenspinne werden alle Wege, die über das zu betrachtende Netzelement führen, ermittelt. Diese Wege werden in einer Matrixspinne gespeichert und als separates Nachfragesegment im Basis- und im Mit-Fall umgelegt. Die Auswertung der Reisezeiten erfolgt bezogen auf die unmittelbar von der Maßnahme betroffenen Verkehrsteilnehmer. Verkehrsteilnehmer, die nur indirekt betroffen sind, da die Verlagerung von Fahrten zu einer Veränderung der Reisezeiten auf „ihren“ Strecken führt, bleiben unberücksichtigt.

In der vorliegenden Untersuchung kommt das zweite Verfahren zur Anwendung, da sich die Veränderungen der Reisezeiten klarer abgrenzen lassen als bei einer Umlegung der Gesamtnachfrage.

Im Fall der Berechnung einer Vollsperrung von Strecken können die Reisezeiten direkt aus VISUM ausgegeben werden. Es ist jedoch nicht direkt

möglich, die Reisezeitverluste zu berechnen, die bei einer Teilsperung durch eventuelle Staubilddung auf dem originären Streckenabschnitt und Ausweichen der Verkehrsteilnehmer auf Alternativrouten entstehen. Hier müssen Annahmen getroffen werden, welcher Anteil der betroffenen Verkehrsteilnehmer auf andere Routen ausweicht. Ausgehend von der Anzahl der Fahrstreifen wird eine theoretische Kapazität auf der Verursacherstrecke ermittelt. Diese Kapazität wird um 50 % reduziert und mit der tatsächlichen Belastung verglichen. Übersteigt die tatsächliche Belastung die reduzierte Kapazität, so wird für diese „Überlast“ eine andere Route gesucht und die Reisezeiten ermittelt. Durch Addition der Reisezeiten, die über die teilgesperrten Strecken verlaufen sowie die Reisezeiten der Umwegrouten wird die Gesamtreisezeit ermittelt und die Mehrreisezeiten ausgewiesen.

## 4.2 Berücksichtigung dynamischer Aspekte

Die Quelle-Ziel-Matrix, die dem Netzmodell zugrunde liegt, bezieht sich auf einen Zeitraum von 24 Stunden. Die Aussagen zur Kritikalität der Bauwerke beziehen sich demzufolge ebenfalls auf einen Betrachtungszeitraum von 24 Stunden. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Auswirkungen in Abhängigkeit der Tageszeit variieren, d. h. vom durchschnittlichen Wert in der Hauptverkehrszeit tendenziell nach oben und in der Nebenverkehrszeit nach unten abweichen. Um diese dynamischen Aspekte zu berücksichtigen, müssten die Berechnungen eigentlich für jede Stunde des Tages durchgeführt werden. Dies setzt voraus, dass für den gesamten Untersuchungsraum kalibrierte Stundenmatrizen vorliegen. Da dies nicht der Fall ist und der Aufwand für die Erzeugung der 24 Basisumlegungen zu hoch ist, wird ein anderer Ansatz gewählt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass für die Bestimmung des Kritikalitätsmaßes die verkehrlichen Auswirkungen in der Hauptverkehrszeit entscheidend sind und in der Nebenverkehrszeit mit geringeren Effekten zu rechnen ist. Es ist daher ein Faktor zu ermitteln, der ausdrückt, inwieweit die Reisezeitverluste der Sperrungen von extremen Spitzenbelastungen geprägt sind und daher von mittleren Reisezeitverlusten bei gleichmäßiger Auslastung abweichen. Diese Abweichung kann durch die Verwendung der Tagesganglinien von Belastung und belastungsabhängiger Reisezeit auf den jeweiligen Strecken bestimmt werden (vgl. Abbildung 2 u. Abbildung 3). In Abhängigkeit von Straßenklasse (Bundesautobahn oder Bundesstraße), Richtung (ein- oder ausstrahlend) und weiteren Faktoren ändert sich der Tagesverlauf der Belastung und die Ausprägung der Belastungsspitzen. So zeigt z. B. eine Bundesau-

tobahn mit überregionaler Bedeutung und langlaufendem Schwerverkehr eine über den Tag hinweg gleichmäßigere Verteilung der Belastung als eine Bundesstraße, die ins Zentrum einer Stadt führt.

Dieser Korrekturfaktor der Kritikalität wird auf Basis der Daten aus VALIDATE Dynamic ermittelt. In Validate Dynamic werden stundenfeine Nachfragematrizen aus den kalibrierten werktäglichen fahrzweckspezifischen Matrizen mit Hilfe von fahrzweckspezifischen Matrizen abgeleitet. Es stehen für jede Strecke Werte zu Belastung, Geschwindigkeit und Reisezeit zur Verfügung. Die Berechnung des Korrekturfaktors  $k$  erfolgt für die jeweilige Verursacherstrecke  $s$  und gibt das Verhältnis der über die Belastung gewichteten mittleren Fahrzeit zu der ungewichteten mittleren Fahrzeit an. Der Korrekturfaktor  $k_s$  bestimmt sich demnach zu:

$$k_s = \frac{\sum_{i=1}^{24} t_i * Q_i}{\frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{\sum_{i=1}^{24} t_i}}$$

$k_s$  Korrekturfaktor der Strecke  $s$

$i$  Stundenintervalle 1..24

$t_s$  Reisezeit der Strecke  $s$

$Q_s$  Belastung der Strecke  $s$  [Kfz/h]

Die Reisezeitverluste des jeweiligen Szenarios werden mit dem Korrekturfaktor der verursachenden Strecke multipliziert.

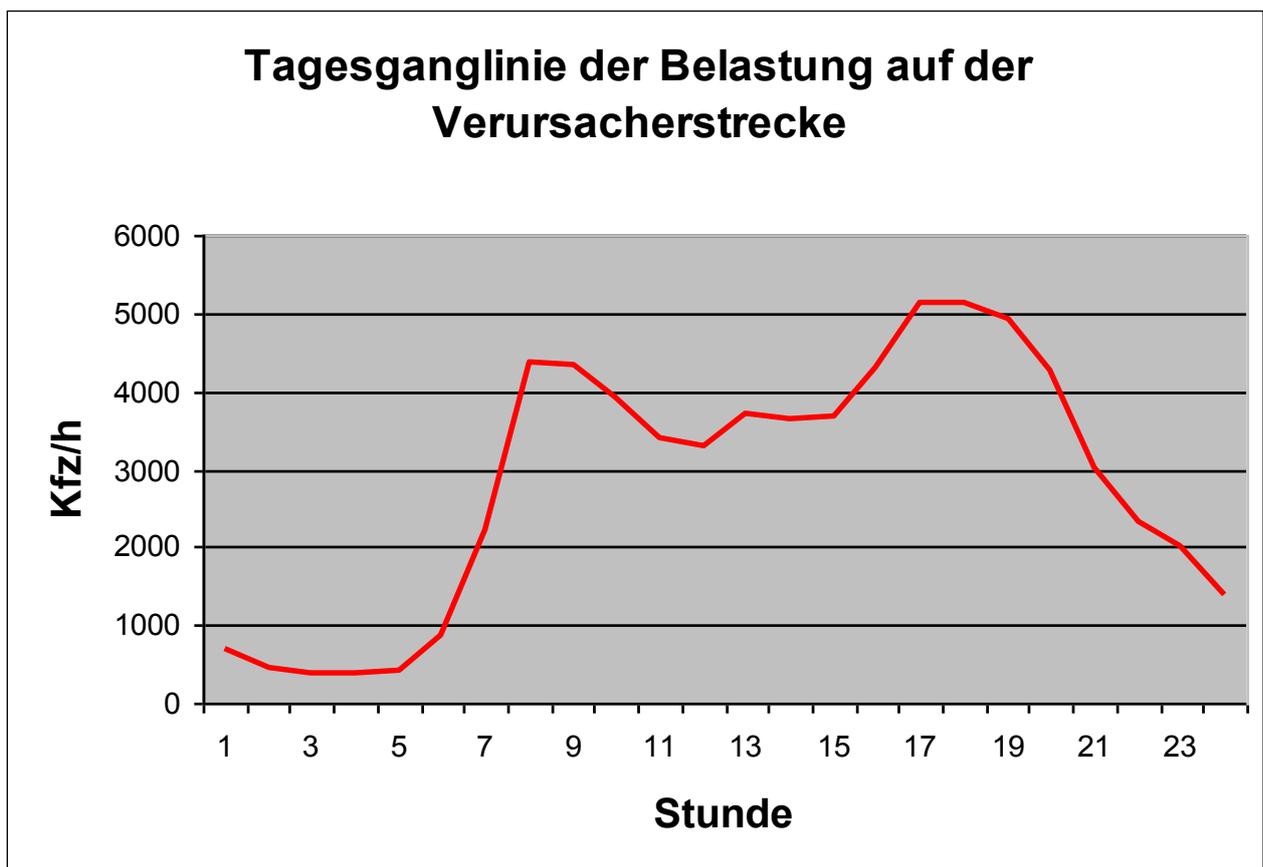


Abbildung 2: Beispiel einer Tagesganglinie der Belastung auf einer Verursacherstrecke

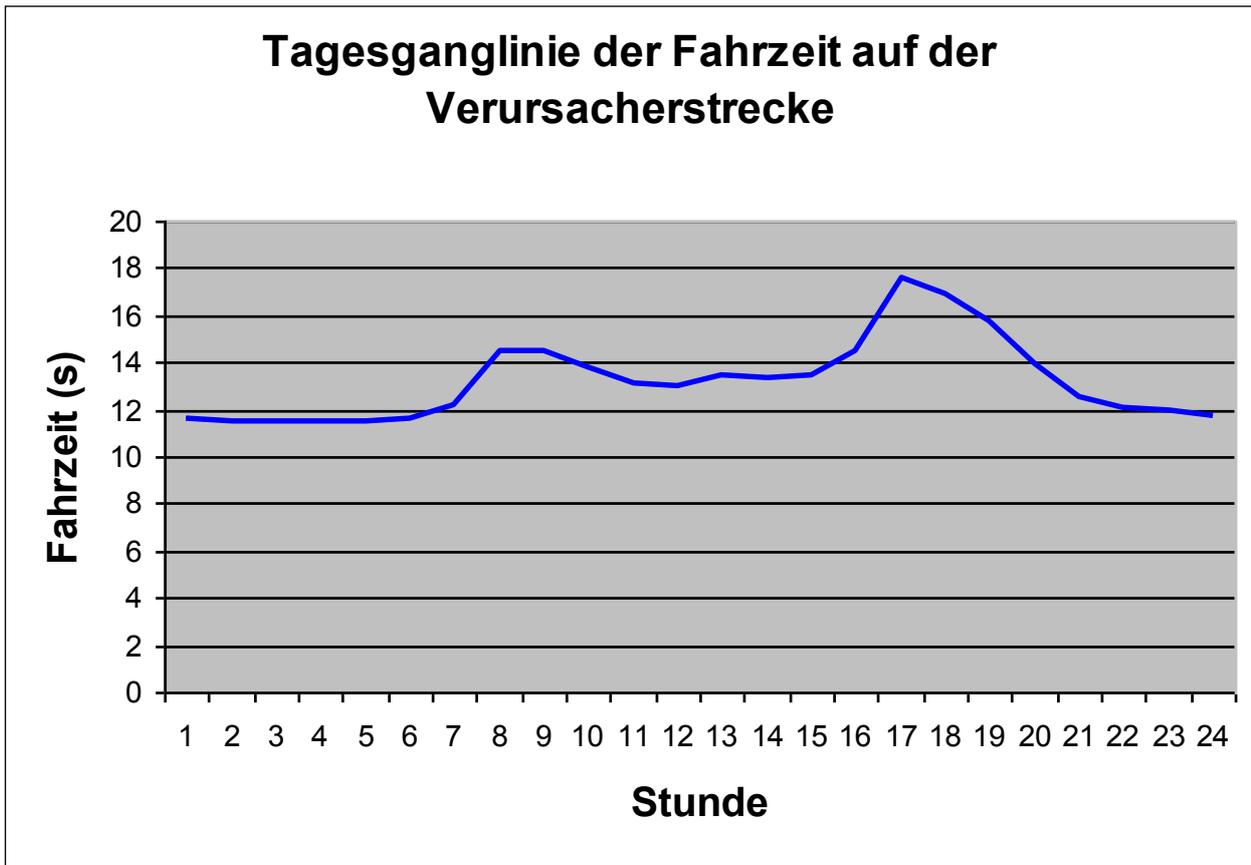


Abbildung 3: Beispiel einer Tagesganglinie der Reisezeit auf einer Verursacherstrecke

## 5 Anwendungsbeispiele

Im Rahmen der Untersuchungen werden ca. 150 Bauwerke hinsichtlich ihrer Kritikalität mit dem Ziel betrachtet, den Wertebereich für die Veränderung der Reisezeiten und den Korrekturfaktor für dynamische Effekte bei Sperrungen und Teilsperren von Bauwerken zu ermitteln. Für jedes Bauwerk wurde das zugeordnete Netzelement gesperrt und die Matrixspinne neu umgelegt.

## 6 Entwicklung eines Kritikalitätsmaßes

Als Maß der Kritikalität von Bauwerken werden die Mehrreisezeiten angesetzt, die durch die Voll- oder Teilspernung von Netzelementen verursacht werden. Durch die Auswertung und Betrachtung der Ergebnisse ergeben sich bestimmte Rahmenbedingungen, die bei der Bestimmung der Kritikalität Anwendung finden sollten:

- Es werden nur absolute Veränderungen der Reisezeiten betrachtet. Dies ermöglicht die Vergleichbarkeit der Maßnahmen untereinander und die Übertragbarkeit in andere Regionen.
- Bei der Ermittlung der Mehrreisezeiten wird der Korrekturfaktor (vgl. Kapitel 4.3.) generell mit einbezogen. Die Ausprägung der tageszeitlichen Belastungsschwankungen auf den einzelnen Bauwerken ist sehr unterschiedlich und genau dies wird durch den Korrekturfaktor berücksichtigt.
- Eine Differenzierung der Bauwerke nach Lage innerorts/außerorts ist sinnvoll, da sich die

Höhe der Mehrreisezeiten deutlich unterscheidet. Die Netzdichte innerhalb von Ortschaften ist generell höher als außerhalb, weshalb bei einem Ausfall eines Bauwerks vermehrt kleinräumige Alternativrouten gesucht und gefunden werden. Bei betroffenen Netzelementen in Außerortslage sind oft größere Umwegfahrten in Kauf zu nehmen, die entsprechende Mehrreisezeiten mit sich bringen.

- Als Kritikalitätsmaß wird nach Absprache innerhalb des Konsortiums das 10-%-Perzentil normativ festgelegt.

Abbildung 4 belegt die Bedeutung des Korrekturfaktors für das Kritikalitätsmaß anhand der prozentualen Zunahme der Reisezeit bei einer Vollsperrung der Bauwerke mit und ohne Berücksichtigung des Korrekturfaktors. Manche Bauwerke zeigen erhebliche Veränderungen der Mehrreisezeiten bei Berücksichtigung dynamischer Effekte, andere unterliegen nur geringfügig den tageszeitlichen Belastungsunterschieden und weisen nur gemäßigte Zunahmen auf.

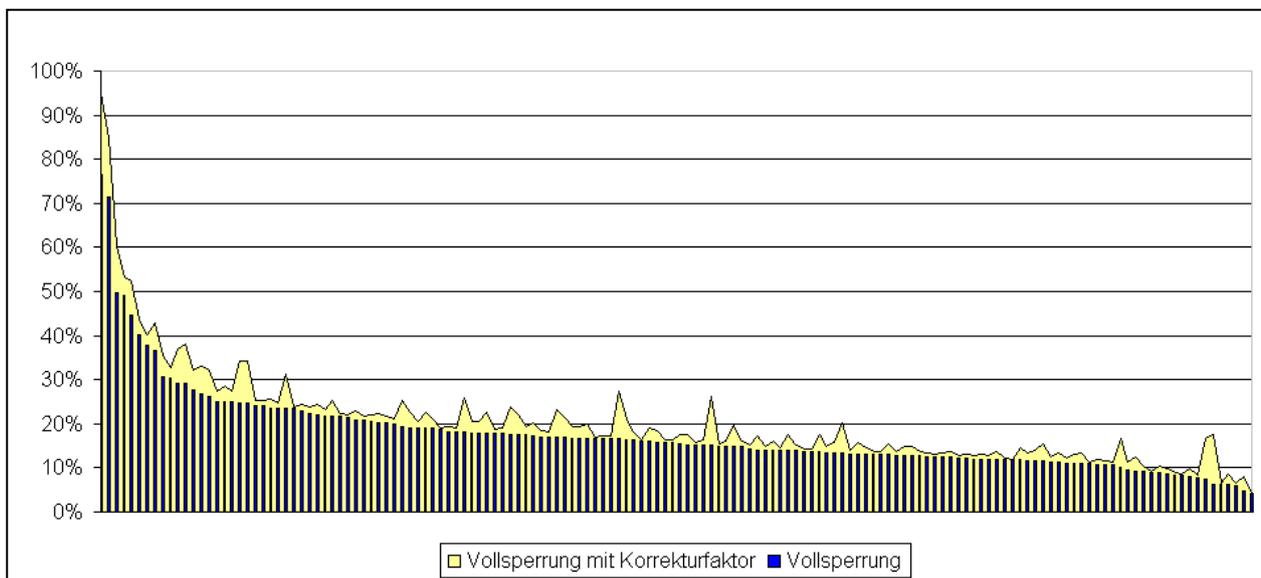


Abbildung 4: Zunahme der Reisezeit in % bei Vollsperrung von Bauwerken mit und ohne Berücksichtigung des Korrekturfaktors

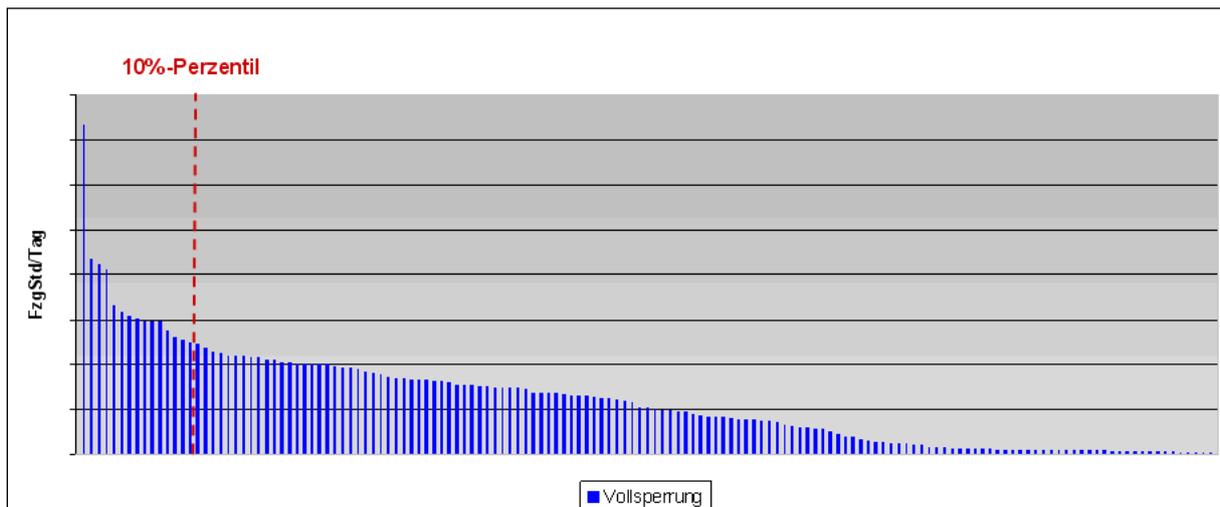


Abbildung 5: Reihung der Bauwerke nach absoluten Mehrreisezeiten bei Vollsperrung

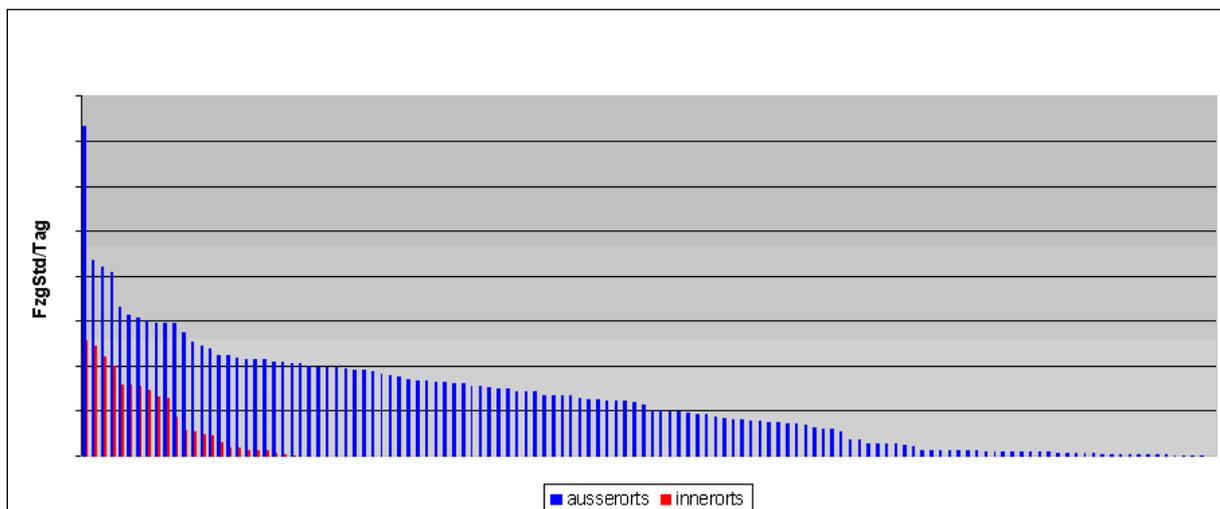


Abbildung 6: Reihung der Bauwerke nach Reisezeitverlusten bei Vollsperrungen, differenziert nach der Lage au-  
ßerorts/innerorts

In Abbildung 5 sind die absoluten Mehrreisezeiten in Fahrzeugstunden je Tag bei der Vollsperrung von Bauwerken dargestellt. Der Korrekturfaktor wurde bei der Ermittlung der Mehrreisezeiten berücksichtigt. Das 10%-Perzentil, als Maß für die kritisch zu bewertenden Bauwerke, ist durch die rot-gestrichelte Linie gekennzeichnet

Abbildung 6 zeigt die Ausprägungen der Mehrreisezeiten bei Vollsperrungen, differenziert nach den beiden Lagen „außerorts“ und „innerorts“. Das Niveau der Mehrreisezeiten, auf dem sich die Auswirkungen der Vollsperrungen außerorts befinden, ist deutlich höher, als das der Auswirkungen bei Vollsperrungen innerorts.

Ein Vergleich der Reihenfolgen zeigt folgende Ausprägung der Kritikalität einzelner Bauwerke:

- Die Kritikalität ist sowohl bei Voll- als auch bei Teilsperung gleichermaßen gegeben.

- Es gibt Bauwerke, die unter Vollsperrung als kritisch einzustufen sind, jedoch bei Teilsperung nicht zu dem 10%-Perzentil gehören.
- Dem gegenüber stehen Bauwerke, die bei Teilsperung kritisch zu bewerten sind, die bei einer Vollsperrung jedoch nicht zu dem kritischen 10%-Perzentil gehören.

## 7 Zusammenfassung und Fazit

Für den Teilbereich „Verkehr“ der Kritikalitätsbestimmung konnte ein Verfahren entwickelt werden, das sich auch für eine größere Grundgesamtheit an Bauwerken durchrechnen lässt und somit zu Verteilungen der Mehrreisezeiten führt. Diese ermöglichen wiederum durch das Setzen einer Zulässigkeitsschranke, d. h. einem Prozentsatz der Bauwerke mit den höchsten Mehrreisezeiten, kritische von weniger kritischen Bauwerken zu trennen. Dabei darf nicht übersehen werden, dass das Setzen einer solchen Schranke ein durch den Gutachter zu begründender Schritt bleibt. Es wird aber insgesamt ein Weg aufgezeigt, wie eine Kritikalitätsbestimmung in verkehrlicher Hinsicht durchgeführt werden kann. Das Verfahren ist exemplarisch auf 150 Bauwerke eines Teils des deutschen Straßennetzes angewendet worden. Dabei zeigte sich, dass die Bauwerke sich hinsichtlich der Mehrreisezeiten und der daraus abgeleiteten Kritikalität deutlich voneinander unterscheiden.

Die Zuordnung der dem Programm SIB-Bauwerke entnommenen Bauwerksdaten zum Netzmodell konnte nur teilautomatisiert erfolgen, da hinsichtlich einer Reihe von Bauwerksdaten eine nachträgliche Bearbeitung erforderlich wurde.

Für die untersuchten 150 Bauwerke sind sowohl für eine Voll- als auch eine Teilsperre Mehrreisezeiten auf Basis eines mittleren Werktages ermittelt und angegeben worden. Tageszeitliche Schwankungen der Verkehrsnachfrage, die zu Fluktuationen der Mehrreisezeiten über den Tagesverlauf führen, wurden dabei mittels eines Korrekturfaktors berücksichtigt. Wenn durch eine ingenieurseitige Betrachtung bestimmt werden kann, wie lange ein Bauwerk nach einem Schadensereignis für den Verkehr nicht zur Verfügung steht, kann durch Multiplikation der täglichen Mehrreisezeiten mit der Anzahl der Tage des Wiederherstellungszeitraums eine ereignisbezogene Gesamtmehrreisezeit bestimmt werden. Hierfür ergeben sich dann andere Verteilungen und entsprechend auch andere kritische Bauwerke.

Ebenso ist zu bedenken, dass das vorgestellte Verfahren vom Aufwand der Verkehrssumlegungen her nicht für Datensätze von mehreren Tausend Bauwerken geeignet ist. Hier könnte man in weitergehenden Arbeiten versuchen, für Cluster von Strecken mit Bauwerken mittlere Mehrreisezeiten zu ermitteln. Diese Cluster könnten durch entsprechende Wertebereiche z. B. der Indikatoren

- DTV (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke aller Tage eines Jahres)
- Lkw-Anteil

- Korrekturfaktor zur Berücksichtigung von dynamischen Aspekten der Nachfrage bzw. von Ganglinienverläufen (vgl. Abschnitt 4.3)

charakterisiert werden (Vgl. dazu: PTV AG: „Informationen über Alternativrouten als Grundlage für objektbezogene Bewertungsverfahren im Bauwerksmanagement“ (FE 15.411), im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2007). Einer Vielzahl von Bauwerken könnten dann ohne zusätzliche Modellberechnungen Mehrreisezeiten im Falle einer (Teil-)Zerstörung gemäß ihrer Zugehörigkeit zu einem Cluster zugeordnet werden.

Ersetzt man bei einem solchen Verfahrensansatz die Mehrreisezeiten durch die Summe mehrerer monetarisierter gesamtwirtschaftlicher Indikatoren (z. B. zusätzliche Betriebskosten, Schadstoffemissionen, Unfallkosten), so findet eine gewisse Annäherung der Verfahren zur Bestimmung der verkehrlichen Kritikalität und zur gesamtwirtschaftlichen Bewertung von Maßnahmen im Rahmen des SKRIBT-Projekts statt.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verortung der Bauwerke im VALIDATE-Netz .....	6
Abbildung 2:	Beispiel einer Tagesganglinie der Belastung auf einer Verursacherstrecke .....	9
Abbildung 3:	Beispiel einer Tagesganglinie der Reisezeit auf einer Verursacherstrecke .....	10
Abbildung 4:	Zunahme der Reisezeit in % bei Vollsperrung von Bauwerken mit und ohne Berücksichtigung des Korrekturfaktors .....	12
Abbildung 5:	Reihung der Bauwerke nach absoluten Mehrreisezeiten bei Vollsperrung .....	13
Abbildung 6:	Reihung der Bauwerke nach Reisezeitverlusten bei Vollsperrungen, differenziert nach der Lage außerorts/innerorts .....	13

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bauwerksdaten Nordrhein- Westfalen .....	5
------------	---	---