

Einflüsse naturgefahrenbedingter Streckensperrungen auf überregionale Verkehrsströme – Verkehrsträgerübergreifende Stresstestszenarien für die Region 'Mittelrhein'

Schlussbericht des Schwerpunktthemas Fokusgebiete Binnen (SP-109) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks

S. Hänsel, E. Nilson, R. Patzwahl, M. Forbriger, M. Klose, B. Krieger



Themenfeld 1: Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen

Zitiervorschlag

Hänsel S., Nilson E, Patzwahl R., Forbriger M, Klose M., B. Krieger (2020): Einflüsse naturgefahrenbedingter Streckensperrungen auf überregionale Verkehrsströme – Verkehrsträgerübergreifende Stresstestszenarien für die Region 'Mittelrhein'. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Fokusgebiete Binnen (SP-109) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNHS2020.2020.10

Impressum

Digitale Publikationsreihe des Themenfeldes 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ im BMVI-Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“ zu den Forschungsergebnissen der Schwerpunktthemen aus der 1. Forschungsphase (2016–2019).

Das Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) hat die Forschungsarbeiten im Rahmen des Ressortforschungsprogramms BMVI Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“ gefördert.

Internet: www.bmvi-expertennetzwerk.de

Autoren:

Deutscher Wetterdienst:
Dr. Stephanie Hänsel

Bundesanstalt für Gewässerkunde:
Dr. Enno Nilson

Bundesanstalt für Wasserbau:
Dr. Regina Patzwahl

Eisenbahn-Bundesamt:
Markus Forbriger

Bundesanstalt für Straßenwesen:
Dr. Martin Klose, Beata Krieger

Redaktionsschluss: Dezember 2020

Titelbild: Grafik: BAW

DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02

Inhalt

Hinweise zu Zielsetzung und Interpretation des vorliegenden Berichts	1
Zusammenfassung.....	3
1 Hintergrund und Zielstellung.....	7
1.1 Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf das Verkehrssystem.....	7
1.2 Einordnung in das Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks.....	7
1.3 Szenarienbasierte Bewertungsansätze.....	9
1.4 Zielstellung des Projektes „Stresstestszenarien Mittelrhein“.....	9
1.5 Untersuchungsgebiet Mittelrhein.....	10
2 Daten und Methoden.....	13
2.1 Definition der Stresstestszenarien.....	13
2.1.1 Auswahl der untersuchten Szenarien.....	13
2.1.2 Szenario 1 – Felssturz.....	14
2.1.3 Szenario 2 – Hochwasser.....	15
2.1.4 Szenario 3 – Niedrigwasser.....	18
2.1.5 Szenario 4 –Längerer Ausfall eines Bundesautobahnabschnittes.....	20
2.1.6 Szenario 5 – Längerer Ausfall eines Schienenteilabschnitts an der Mosel.....	20
2.2 Methodische Vorgehensweise der Wirkungsanalyse.....	22
2.3 Grundlagendaten aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030	22
2.3.1 Verkehrsdaten der Verkehrsverflechtungsprognose	22
2.3.2 Verkehrsnetze und Umlegung der Verkehre.....	25
2.3.3 Güterverkehrsströme über den Mittelrhein.....	35
2.4 Grundlagen der Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen.....	39
2.4.1 Verkehrsverlagerungen im Güterverkehr.....	39
2.4.2 Transportkostenrechnungen.....	39
2.4.3 Verkehrstage versus Kalendertage	41
2.5 Anpassungsreaktionen einzelner Wirtschaftssubjekte an das Auftreten von Extremereignissen	42
2.5.1 Personenverkehr.....	42
2.5.2 Güterverkehr.....	43
3 Fallbeispiel Stresstestszenario „Hochwasser“ – Ausführliche Ergebnisdarstellung.....	46
3.1 Vorbemerkungen.....	47
3.2 Verkehrliche Randbedingungen des Szenarios	47
3.3 Verkehrliche Wirkung der von der Sperrung betroffenen Straßenverkehre.....	48
3.3.1 Ausgangssituation	48
3.3.2 Auswirkungen auf den Straßenverkehr im Analysejahr 2010	50
3.4 Verkehrliche Wirkung der von der Sperrung betroffenen Schienenverkehre	52
3.4.1 Ausgangssituation	52

3.4.2	Auswirkungen auf den Schienenverkehr im Analysejahr 2010.....	53
3.4.3	Verkehrsverlagerung auf die Straße im Analysejahr 2010	58
3.5	Verkehrliche Wirkung der von der Sperrung betroffenen Wasserstraßenverkehre.....	58
3.5.1	Ausgangssituation	58
3.5.2	Abwägung zwischen Verkehrsverlagerung und Ausschöpfung der Lagerkapazitäten in der Binnenschifffahrt.....	60
3.5.3	Verkehrsverlagerung vom Binnenschiff auf die Bahn im Analysejahr 2010.....	62
3.5.4	Verkehrsverlagerung vom Binnenschiff auf die Straße im Analysejahr 2010	64
3.6	Aggregierte Bewertung der verkehrlichen Wirkungen und Kosten	65
3.7	Vergleich der Betrachtungsjahre 2010 und 2030.....	67
4	Integrierte Ergebnisdarstellung für alle fünf Stresstestszenarien.....	69
5	Anpassungsreaktionen von Unternehmen – Fallbeispiele	73
5.1	Fallbeispiel 1 – Flughafen Frankfurt am Main.....	73
5.1.1	Ausgangssituation	73
5.1.2	Extremwetterbedingte Störungen und Anpassungsmaßnahmen.....	75
5.2	Fallbeispiel 2 – Chemieindustrie im Rhein-Neckar-Gebiet.....	75
5.2.1	Ausgangssituation	75
5.2.2	Extremwetterbedingte Störungen des Verkehrs	76
5.2.3	Langfristige Anpassungsmaßnahmen	79
6	Fazit und Ausblick	80
6.1	Wesentlicher Erkenntnisgewinn.....	80
6.2	Offene Forschungsfragen.....	81
7	Literatur.....	82
8	Abkürzungsverzeichnis.....	84
9	Anhang.....	86
9.1	Weitere Tabellen.....	86

Hinweise zu Zielsetzung und Interpretation des vorliegenden Berichts

Die vorliegende Studie – die im Rahmen des Forschungsprojektes „Einflüsse von Wetter- und Klimaextremen auf überregionale Verkehrsströme – Stresstestszenario Mittelrhein“ (Kotzagiorgis et al. 2019) durchgeführt wurde – dient der Entwicklung und Erprobung einer modellgestützten Methode, mit der mögliche Auswirkungen witterungsbedingter Extremereignisse auf Verkehrsströme und Transportkosten ermittelt werden können. Diese sogenannten Stresstests zielen auf die Bewertung von Einzelereignissen. Sie sind nicht zu verwechseln mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen oder Klimafolgebewertungen, die die über mehrere Jahre gemittelten Verkehrs- und Klimabedingungen berücksichtigen. Zum Verständnis und zur Einordnung der Ergebnisse ist es wichtig, die getroffenen Szenariannahmen zur Kenntnis zu nehmen und bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Die im Rahmen der Stresstests betrachteten witterungsbedingten Extremereignisse wurden so konstruiert, dass sie zwar prinzipiell möglich, aber so unwahrscheinlich sind, dass sie für die üblichen Planungs- und Bemessungsvorgänge keine Rolle spielen. Sie eröffnen die Möglichkeit die Grenzzustände des Verkehrssystems auszuloten und denkbare Reaktionen verschiedener Akteure im Ereignisfall zu simulieren. So wurde beispielsweise ein besonders lang andauerndes Niedrigwasserereignis konstruiert, das statistisch – soweit dies abgeschätzt werden kann – nur rund alle 500 Jahre auftritt. Zum Vergleich: Das reale Extremniedrigwasserereignis des Jahres 2018 tritt statistisch etwa alle 50 Jahre auf.

Bei der Entwicklung der modellgestützten Methode zur Ermittlung der Auswirkungen witterungsbedingter Extremereignisse auf die Verkehrsströme erfolgte zunächst eine Fokussierung auf mögliche Kapazitätsengpässe der Verkehrsinfrastruktur innerhalb Deutschlands unter den angenommenen Rahmenbedingungen. Andere Engpässe, wie die Verfügbarkeit von Fahrzeugen oder Fahrzeugführern, die in der Realität eine wichtige Rolle spielen, konnten in diesem Schritt noch nicht in die Simulation einbezogen werden. Es wurde also – stark vereinfacht – zunächst von einer unbegrenzten Verfügbarkeit ausgegangen. Zudem wurden nur unmittelbare Transportkosteneffekte quantifiziert. Nicht berücksichtigt wurden weitere wirtschaftlich relevante Kostenaspekte, die sich z. B. aus Produktionsausfällen von Unternehmen aufgrund verzögerter Rohstofflieferungen oder erschöpfter Lagerkapazitäten, aus Wettbewerbsnachteilen der verladenden Unternehmen oder durch eine erhöhte Umweltbelastung durch eine Verkehrszunahme auf gewissen Verkehrsträgern bzw. Strecken (z. B. Lärm- und sonstige Emissionen) ergeben.

Anpassungsmaßnahmen am Verkehrssystem wie z. B. eine Abladeoptimierung der Wasserstraße zielen darauf ab das Verkehrssystem resilienter gegenüber witterungsbedingten Extremereignissen – wie sie beispielsweise in den Stresstestszenarien definiert wurden – zu machen und z. B. darauf hinzuwirken, dass verkehrliche Engpässe seltener auftreten. Mit solchen Anpassungsmaßnahmen werden die gesamtwirtschaftlichen Kosten solcher Ereignisse reduziert, welche im Rahmen dieser Forschungsstudie aufgrund fehlender Daten derzeit nicht betrachtet werden konnten. Die vorliegende Studie fokussiert lediglich auf einen Teil der verkehrlichen Zusatzkosten, die mit der ereignisbedingten Verlagerung von Verkehren einhergehen und kann daher nicht direkt für die Plausibilisierung spezifischer Anpassungsmaßnahmen herangezogen werden.

Die vorgestellten Ergebnisse bilden somit nur ausgewählte Teilaspekte des realen Geschehens ab. Die dargestellten Kosten umfassen nur einen kleinen Teil der realen Kosten. In der 2. Forschungsphase des BMVI-Expertennetzwerks (2020–2025) wird die Methode weiterentwickelt. Ziel ist es, ein vollständigeres Abbild des Verkehrssystems zu schaffen und Erfahrungen mit weiteren Fallstudien (Stresstests) zu sammeln.

Zusammenfassung

Klimatisch beeinflusste Naturgefahren können die Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur und somit regionale und überregionale Verkehrsströme beeinträchtigen. Besonders relevant sind diese Zusammenhänge auf hoch prioritären Verkehrsachsen, an denen aufgrund der naturräumlichen Bedingungen durch Ereignisse (oder Ereigniskombinationen) mehrere Verkehrsträger gleichzeitig beeinträchtigt sein können. Diese Bedingungen sind z. B. im Verkehrskorridor des Mittelrheingebietes zwischen Bingen und Bonn gegeben. Der Einfluss von Naturgefahren auf die Verkehrsströme wurde dort im Rahmen des Forschungsprojektes „Einflüsse von Wetter- und Klimaextremen auf überregionale Verkehrsströme – Stresstestszenario Mittelrhein“ (Kotzagorgis et al. 2019) für ausgewählte Ereignisse untersucht.

Das Untersuchungsgebiet umfasst mit dem Rhein die wichtigste deutsche Binnenschiffahrtsstraße, zwei mit Güter- und Personenverkehr hoch ausgelastete Eisenbahnstrecken auf beiden Seiten des Rheins und entlang der Mosel sowie zwei parallel zu den Flüssen verlaufende Bundesstraßen und zwei Bundesautobahnen (BAB 3, BAB 61) im Hinterland. Als Teil des TEN-V (Rhein-Alpen-Korridor) verbindet dieser Bereich des Verkehrssystems wichtige Wirtschaftszentren und kann damit als verkehrlich besonders bedeutsam angesehen werden. Ferner traten in diesem Bereich in den letzten Jahren mehrfach witterungsbedingte Verkehrseinschränkungen auf. Hangrutschungen an den steilen Hängen des Mittelrheintals führen immer wieder zu Sperrungen und Beschädigungen an der Straßen- und Schieneninfrastruktur. Die Niedrigwassersituation des Jahres 2018, die zu langanhaltenden Einschränkungen der Schifffahrt führte und starke wirtschaftliche Auswirkungen hatte, ist noch gut in Erinnerung. Die beiden letzten großen Hochwasserereignisse am Rhein (1993, 1995) führten zu erheblichen Beeinträchtigungen aller drei hierbei betrachteten Verkehrsträger mit entsprechend weitreichenden Konsequenzen.

Im Rahmen der Zielstellung des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk die Auswirkungen des Klimawandels und extremer Wetterereignisse auf die deutsche Bundesverkehrsinfrastruktur zu beschreiben und mögliche Anpassungsmaßnahmen vorzuschlagen, ist die Verbesserung des Verständnisses über mögliche Reaktionen der einzelnen Verkehrsträger bei witterungsbedingten Verkehrseinschränkungen von großer Bedeutung. Welche Art von Ausfall bzw. Einschränkung führt in welchem Maß zu welcher Reaktion der Verkehrsträger, wie wirken die Verkehrsträger und ihre -netze zusammen und welche Faktoren können dabei relevant sein und welche eher nicht? Dieses Verständnis wurde mithilfe von Verkehrsstrommodellierungen (Netzumlegungen von Güter- und Personenverkehrsströmen) erarbeitet. Es wurden Auswirkungen naturgefahrenbedingter Einschränkungen und Unterbrechungen im Personennah- und -fernverkehr sowie im Güterverkehr untersucht. Potentielle verkehrliche Zusatzkosten der jeweiligen Verfügbarkeitseinschränkungen wurden verkehrsträgerübergreifend abgeschätzt. Die den Stresstests zugrundeliegenden Szenarienannahmen wurden vereinfachend und drastisch gewählt, um die Wirkung bislang unbeobachteter, aber theoretisch möglicher „Stresssituationen“ im Verkehrssystem modellhaft zu erfassen. Konstruiert wurden naturgefahrenbedingte Verkehrsunterbrechungen bzw. -einschränkungen von bisher nicht erfasster Länge von drei Wochen bis zu einem halben Jahr. Als Auslöser der Störungen wurden unter anderem gravitative Massenbewegungen sowie Hoch- und Niedrigwasser angenommen.

Bei den Verkehrsstrommodellierungen wurde die tatsächliche Kapazität der Verkehrsinfrastruktur soweit möglich berücksichtigt. Die entsprechenden Daten stammen aus der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) für das Analysejahr 2010 und für das Prognosejahr 2030 (BMVI 2016). Aufgrund fehlender Informationen konnte die Verfügbarkeit von Fahrzeugen (Lkw, Triebfahrzeuge, Waggons, Schiffe) und entsprechendem Personal derzeit nicht berücksichtigt werden. Daher wurde vereinfachend eine unbegrenzte Verfügbarkeit angenommen. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind die Auswirkungen des derzeit in Planung befindlichen Wasserstraßenprojektes „Abladeoptimierung Mittelrhein“, dass die Beseitigung abladerelevanter Schwellen und damit eine Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen bei Mittel- und Niedrigwasser zum Ziel hat. Somit sollen niedrigwasserbedingte Leistungsfähigkeitseinschränkungen der Wasserstraße verringert werden.












Die Ergebnisse der Stresstestanalysen sind sehr vielschichtig und bieten zahlreiche Auswertungs- und Interpretationsmöglichkeiten. Unter den getroffenen, in einigen Fällen datenbedingt noch unvollständigen und damit stark vereinfachenden Annahmen der Verkehrsstrommodellierung (z. B. zu Lagerzeiten, zur Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Fahrern, zur Nutzung ausländischer Netze etc.) konnten im Modell die Personen- und Güterverkehre in allen Stresstestszenarien über deren jeweiligen Betrachtungszeitraum hinweg im Wesentlichen durchgeführt werden, allerdings zu höheren Kosten und mit teilweise erheblichem (zeitlichem, logistischem) Mehraufwand (Tabelle 0-1). Zudem wurden einige Verkehre nur zeitlich verzögert abgefahren, was in Abhängigkeit vom Zeitumfang der Verzögerung in einigen Branchen zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden führen kann.

Die im Bericht dargestellten Kosten der Transportausfälle- oder -einschränkungen umfassen keine über den reinen Transport hinausgehenden Folgekosten. Kosten für Unternehmen, deren Rentabilitäts- und Wettbewerbssituation unter den zwischenzeitlichen Transportengpässen leidet, sind nicht berücksichtigt. Bei den Modellrechnungen wurde die begrenzte Kapazität der Verkehrsinfrastruktur einbezogen. Aufgrund fehlender Detailinformationen nicht berücksichtigt werden konnte hingegen die suprastrukturelle Verfügbarkeit, z. B. von Fahrzeugen (Lkw, Lokomotiven, Waggonen, Schiffen etc.), Umschlagkapazitäten und entsprechendem Personal, sodass diese als unbegrenzt zur Verfügung stehend angenommen wurden. Damit sind die gewonnenen und die in Tabelle 0-1 dargestellten Aussagen als eine Mindestgröße aus den Szenarien zu erwartender negativer Effekte zu verstehen. Sie erlauben zudem die Separierung der Kapazitätseffekte von weiteren Effekten. Auch die Allgemeingültigkeit der Aussagen und Kosten muss derzeit noch infrage gestellt werden. Beispielsweise gehört zu jedem Stresstestszenario auch eine Storyline, das heißt eine Abfolge von Ereignissen und Prozessen, die bei der Frühwarnung oder Vorhersage zum jeweiligen Ereignis beginnt und die individuellen Möglichkeiten der betroffenen Unternehmen zur Lagerhaltung und ggf. auch Zeiträume und Entscheidungswege zu einer Anpassung logistischer Prozesse einschließt. Hierbei mussten im Rahmen der Untersuchung pauschale und daher mit Unsicherheiten behaftete Annahmen getroffen werden.

In der verkehrsträgerübergreifenden Gesamtsicht treten die spezifischen Charakteristika der Verkehrsträger deutlich hervor. Zunächst einmal zeigt sich die Straße gegenüber allen betrachteten Einwirkungen als recht flexibel und kann naturgefahrenbedingte Sperrungen aufgrund der hohen Netzredundanz durch Umrouing innerhalb des Straßennetzes oft kompensieren. Dies ist jedoch mit zusätzlich zu fahrenden Kilometern, längeren Fahrzeiten und höheren Kosten verbunden. Verkehrsverlagerungen finden eher von der Schiene und der Wasserstraße auf die Straße statt als umgekehrt und mit Blick auf den Güterverkehr insbesondere zwischen diesen beiden massengutaffinen Verkehrsträgern. Beiden Verkehrsträgern ist u. a. gemeinsam, dass sie im Unterschied zur Straße kaum innerhalb des eigenen Netzes Verkehre verlagern können. Die Verlagerung des Massenguttransportes auf die Straße ist preislich wiederum nicht attraktiv. Innerhalb des Wasserstraßennetzes sind die Ausweichmöglichkeiten naturgemäß sehr gering. Im Schienennetz des Untersuchungsraumes sind zwar theoretisch Ausweichrouten vorhanden, jedoch nicht mit in geeigneter Qualität vorliegender, ausreichender Kapazität (z. B. fehlende Elektrifizierung, Achslastbeschränkungen). Aufgrund der fehlenden Kapazitäten im Schienennetz des Untersuchungsraumes und um alle von den betroffenen Abschnitten verdrängten Verkehre aufzunehmen, werden diese Verkehre dann per Lkw auf der Straße befördert.

Mit Blick auf die hier ermittelten verkehrlichen Kosten ist das Stresstestszenario „Niedrigwasser“ aufgrund seiner langen Andauer sowie der großen betroffenen Gütermenge, die teilweise zu verlagern ist, mit Zusatzkosten zwischen 250 und 300 Mio. Euro über den gesamten Szenariozeitraum von 180 Tagen am teuersten. Wie das Niedrigwasser 2018 gezeigt hat, sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer solchen extrem langandauernden Niedrigwassersituation um ein Vielfaches höher als die hier betrachteten verkehrlichen Zusatzkosten, die sich rein auf die Mehrkosten des Transports der Güter beziehen. Die umfassenden Transportkapazitäten der Wasserstraße können in der Praxis durch andere Verkehrsträger nicht kurzfristig und vollständig substituiert werden.

Tabelle 0-1: Zusammenstellung ausgewählter Ergebnisse der Stresstests „Mittelrhein“. Erläuterungen zu den Modellansätzen und Kostenangaben s. Text.

Szenario	1 – gravitative Massenbewegung (Felssturz Loreley)		2 – Hochwasser Rhein		3 – Niedrigwasser Rhein		4 – Extremereignis Straße	5 – Extremereignis Schiene
Beschreibung des Stresstestszenarios	Typ: Sperrung  Strecken: Bundesstraße 42 und Schienenstrecke 3507 (rechtsrheinisch) zwischen St. Goarshausen und Urbar Dauer: 21 Tage		Typ: Sperrung  Strecken: Bundesstraße 9, Schienenstrecke 2630 (linksrheinisch) und BWaStr Rhein (inkl. Fähren) im Raum Oberwesel Dauer: 21 Tage		Typ: Starke Einschränkung  Strecken: Mittelrhein, Raum Oberwesel (Pegel Kaub: 53 cm) Dauer: 180 Tage		Typ: Sperrung  Strecke: BAB 3 zwischen Dierdorf und Ransbach-Baumbach Dauer: 180 Tage	Typ: Sperrung  Strecke: Moselstrecke 3010 zwischen Koblenz-Güls und Winningen Dauer: 180 Tage
Bezugsjahr	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2030	2030
 betroffene Kfz pro Tag	3.100	2.250	8.900	10.100	—	—	98.000	—
zusätzliche Distanz in km pro Fahrt								
a) Personenverkehr	2	2	13	16	—	—	7	—
b) Güterverkehr	2	2	8	9	—	—	7	—
zusätzlicher Zeitaufwand in Min pro Fahrt								
a) Personenverkehr	5	5	1	2	—	—	7	—
b) Güterverkehr	6	6	6	3	—	—	5	—
Transportausfall in 1000 t pro Tag	0	0	0	0	—	—	0	—
 betroffene Züge pro Tag	194	220	156	253	—	—	—	131
betroffene Personen pro Tag*	687	822	13.600	19.400	—	—	—	6.027
zusätzliche Reisezeit in Min. pro Personenfahrt**	40	40	45	45	—	—	—	30
betroffene Gütermengen in 1000 t pro Tag	75	95	36	87	—	—	—	40
Transportausfall in								
a) Zügen pro Tag	12	59	6	25	—	—	—	10
b) 1000 t pro Tag	7,6	32	4	15	—	—	—	5,4
 betroffene Gütermenge in 1000 t pro Tag	—	—	134	176	204	255	—	—
Transportausfall in 1000 t pro Tag	—	—	134	176	137	182	—	—
Verlagerung auf (zus. Gütermenge in 1000 t pro Tag)								
	3,6	27,2	66	87	13,1	15,8	0	4,3
	0	0	71	100	124	166	0	0
	4	4,7	0	0	0	0	0	1
Verkehrliche Kosten in €								
a) für die gesamte Ereignisdauer	2.310.000	14.154.000	39.900.000	51.681.000	301.500.000	255.240.000	87.480.000	25.020.000
b) pro Ereignistag	110.000	674.000	1.900.000	2.461.000	1.675.000	1.418.000	486.000	139.000

*Im Nah- und Fernverkehr; **Im Nahverkehr. Der Mehraufwand im Fernverkehr ist geringer.

Dass das im Stresstestszenario angenommene Niedrigwasserereignis tatsächlich sehr selten ist, zeigt ein Blick in die insgesamt rund 4.000 Jahre simulierter Abflüsse (alle Szenarien, alle validen Projektionen), die im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks entstanden sind. Die im Stresstestszenario angenommene ununterbrochene Dauer von 180 Tagen mit einem Pegelstand von unter 53 cm am Pegel Kaub wird nur einmal simuliert¹.

Pro Tag sind die verkehrlichen Zusatzkosten beim Stresstestszenario „Hochwasser“ am höchsten (ca. 2 Mio. Euro), da hierbei alle drei Verkehrsträger betroffen sind. Die kürzere Dauer dieses Stresstests (21 Tage mit Sperrungen) erlaubt es einigen Branchen, den Transportengpass in gewissem Umfang über Lagerhaltung auszugleichen.

Die im Rahmen einer Befragung von Unternehmensseite genannten Anpassungsmaßnahmen bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse früherer Projekte (Nilson 2014, Scholten 2010, Scholten und Rothstein 2012). In Bezug auf das Management und die Entwicklung der Verkehrsträger und ihrer Infrastruktur sind u. a. folgende Maßnahmen zu nennen:

- gezielte Entwicklung des intermodalen Transports (inkl. Einbeziehung von Strecken/Kapazitäten im benachbarten Ausland)
- Entwicklung von Notfallplänen zur Sicherstellung des Verkehrs in besonders sensiblen Bereichen
- Erweiterung von Hochwasserschutzmaßnahmen (inkl. überregionalem Hochwasserschutz)
- Erweiterung des Rückschnittprogrammes der DB Netz AG (inkl. der vom Güterverkehr nutzbaren Nebenstrecken)
- Erweiterung von Sicherungsmaßnahmen im Bereich in der Verkehrsinfrastruktur (Hangrutschungen und Felsstürzen, Eis, Frost, Hitze)

Bezogen auf die in der Region ansässigen Wirtschaftsunternehmen wurden folgende Maßnahmen und Reaktionsmöglichkeiten bezüglich des (zukünftig ggf. gehäuften Auftretens) von extremwetterbedingten Verkehrseinschränkungen genannt:

- Schaffung zusätzlicher Lagerkapazitäten
- Aufbau eigener/angepasster Fuhrparks (Lkw, Schienenfahrzeuge, flachgehende Schiffsflotte)
- Bau von Pipelines (flüssiges Massengut)
- räumliche und oder zeitliche Verkehrsverlagerung (inkl. Nutzung anderer Seehäfen)
- Mobilitäts- und Verkehrsvermeidung
- Drosselung von Produktionsprozessen

Eine Standortverlagerung von Unternehmen wurde als Option bei der Befragung allenthalben ausgeschlossen, da in allen Regionen der Welt mit Extremwetterereignissen zu rechnen ist. Die Umsetzung der Maßnahmen hängt im Wesentlichen von Aspekten der Wirtschaftlichkeit und der Machbarkeit ab. Hierzu gehören:

- Häufigkeit und Ausprägung der Extremsituationen
- Grad der Transportabhängigkeit
- genehmigungsrechtliche Aspekte (Raumplanung, Beteiligungsprozesse)
- politische Rahmenbedingungen (inkl. einer Subventionierung)

Die vorgestellten Ergebnisse bilden nur ausgewählte Teilaspekte des realen Geschehens ab. Die dargestellten Kosten umfassen somit nur einen kleinen Teil der realen Kosten. In der 2. Forschungsphase des BMVI-Expertennetzwerks (2020-2025) wird die Methode weiterentwickelt. Ziel ist es, ein vollständigeres Abbild des Verkehrssystems zu schaffen und Erfahrungen mit weiteren Fallstudien (Stresstests) zu sammeln.

¹ Zeitraum: 210 Tage zwischen Mai und Dezember 2092 bei der Modellkette RCP85-HadGEM2HADGEM2-r1-REMO-LARSIM.

1 Hintergrund und Zielstellung

- Im Rahmen einer verkehrsträgerübergreifenden Stressteststudie für die Mittelrheinregion wurden im BMVI-Expertennetzwerk die möglichen Auswirkungen extremwetterbedingter Verkehrseinschränkungen auf die überregionalen Verkehrsströme untersucht.
- Das Verkehrssystem wird dabei anhand konstruierter Extremszenarien modellhaft unter Stress gesetzt.
- Mittels von Verkehrsstrommodellierungen und unterstützt durch Unternehmensbefragungen wird verdeutlicht, wie sich Verkehrsströme bereits heute an witterungsbedingten Stress anpassen.
- Ziel der Analysen ist die Ableitung von Aussagen zur vorhandenen Klimaresilienz des Verkehrssystems unter Berücksichtigung von Verlagerungskapazitäten und Ausweichstrecken für den Personen- und Güterverkehr sowie einer zeitlichen Verschiebung von Transporten.
- Als Untersuchungsgebiet für die Stressteststudie wurde die verkehrlich bedeutsame Region Mittelrhein ausgewählt, wo die drei betrachteten Verkehrsträger in enger räumlicher Nähe zueinander liegen. Das Verkehrssystem in dieser Region ist aufgrund der naturräumlichen und geologischen Gegebenheiten potenziell von vielfältigen klimatischen Einflüssen betroffen.

1.1 Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf das Verkehrssystem

Der Ausfall der Rheintalbahn zwischen August und Oktober 2017 hat sowohl in der Bevölkerung als auch bei den Wirtschaftsunternehmen einen bleibenden Eindruck hinterlassen. Die durch Gleisabsenkungen der Rheintalbahn über dem Tunnel Rastatt bedingte Streckensperrung ging mit erheblichen Auswirkungen auf den Schienenverkehr im südwestdeutschen Raum einher und verdeutlichte eindrucksvoll mit welchen erheblichen Störungen der öffentlichen Versorgung und der Mobilität ein Ausfall von bedeutenden Infrastrukturen verbunden ist. Solche Einschränkungen der Verkehrsflüsse können durch vielfältige Faktoren hervorgerufen werden, so auch durch extreme Wetter- und Klimaereignisse. Wetterereignisse, die in den letzten Jahren das deutsche Verkehrsnetz beeinträchtigt haben, sind beispielsweise das Elbehochwasser im Jahr 2013, der Pfingststurm von 2014 in Nordrhein-Westfalen, der Orkan Niklas von 2015 in Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen, das Sturmtief Xavier Anfang Oktober 2017 sowie die extremen Niedrigwasserperioden in 2015 sowie 2018 am Rhein und an der Elbe. In allen Fällen war der Transport erheblicher Gütermengen sowie die Mobilität vieler Menschen beeinträchtigt, in mehreren Fällen auch für längere Zeit.

Die Betroffenheit eines Verkehrsinfrastrukturabschnitts bezüglich der Auswirkungen von Extremereignissen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Entscheidend sind – neben der Intensität und Dauer des Ereignisses – der Bauzustand, die umgebende Natur und/oder Bebauung, die strukturelle Bedeutung des Streckenabschnitts (z. B. Anzahl der Verkehrsteilnehmer/Fahrzeuge pro Tag) sowie die Qualität und Quantität der Ausweichstrecken.

1.2 Einordnung in das Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks

Im Jahr 2016 wurde das BMVI-Expertennetzwerk ins Leben gerufen. Ziel dieses neuen Formats der Resortforschung ist es, das in den beteiligten Bundesoberbehörden vorhandene Wissen zu vernetzen und vor dem Hintergrund wichtiger Zielstellungen des BMVI zu nutzen. Das Themenfeld 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ des BMVI-Expertennetzwerkes zielt darauf ab, das deutsche Verkehrssystem resilienter gegenüber dem Klimawandel und extremen Wetterereignissen zu machen. Aufbauend auf konsistenten Datengrundlagen zur vergangenen und projizierten Klima-

entwicklung (SP-101 *Szenarienbildung*, Brienen et al. (2020)) wird die Betroffenheit des deutschen Verkehrssystems durch Hochwasser (einschließlich Überschreitung des höchsten Schifffahrtswasserstands HSW; SP-103 *Hochwassergefahren*, Rauthe et al. (2020)), Sturm (SP-104 *Sturmgefahren*, Bott et al. (2020)), gravitative Massenbewegungen (SP-105 *Hangrutschungen*, Lohrengel et al. (2020)) sowie Niedrigwasser und Aspekte der Wasserbeschaffenheit (SP-106 *Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit*, Nilson et al. (2020)) analysiert und bewertet (SP-102 *Klimawirkungsanalyse*, Hänsel et al. (2020b)). Mögliche Maßnahmen und Strategien zur Anpassung an die zu erwartende Klimavariabilität, die projizierten Veränderungen im mittleren Klimazustand sowie der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen werden exemplarisch erarbeitet und getestet (SP-107 *Anpassungsoptionen*, Norpöth et al. (2020)). In ausgewählten Fokusgebieten im Küsten- (SP-108 *Fokusgebiete Küsten*, Schade et al. (2020)) und Binnenbereich (SP-109 *Fokusgebiete Binnen*, vorliegender Bericht) werden spezifische Herausforderungen, wie beispielsweise der Meeresspiegelanstieg und damit verknüpfte Gefahren adressiert und neue methodische Herangehensweisen, wie die Analyse von Stresstestszenarien einbezogen.

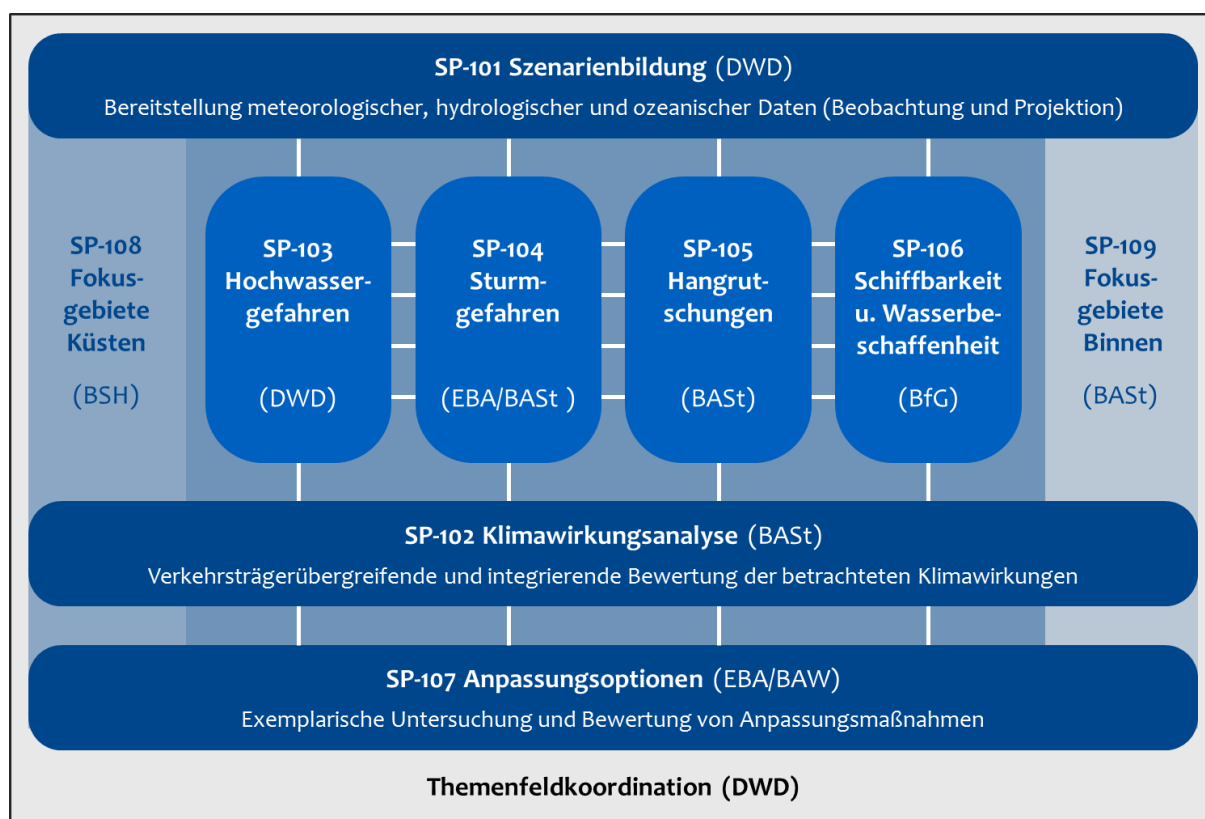


Abbildung 1-1: Forschungsschwerpunkte des Themenfeldes 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ einschließlich der jeweils koordinierenden Bundesoberbehörde.

Im Rahmen einer durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST; Geschäftszeichen: FE 69.0001/2017) durchgeführten und von einem durch das BMVI-Expertennetzwerk bestückten Betreuerkreis begleiteten Projektvergabe wurde die Aufgabenstellung „Einflüsse von Wetter- und Klimaextremen auf überregionale Verkehrsströme – Stresstestszenario Mittelrhein“ durch die TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH und die Arbeitsgruppe Geowissenschaftliches Ressourcenmanagement der Hochschule Konstanz bearbeitet. In diesem Bericht werden die wesentlichen Datengrundlagen und Erkenntnisse aus dem Projektbericht aus Sicht der *Fokusgebiete Binnen* im Themenfeld 1 des BMVI Expertennetzwerkes zusammengefasst.

1.3 Szenarienbasierte Bewertungsansätze

Klimaszenarien: Generell sind unterschiedliche szenarienbasierte – sprich auf Annahmen beruhende – Ansätze zur Bewertung der Auswirkungen möglicher Klimaänderungen möglich (s. a. Brien et al. (2020), Hänsel et al. (2020a)). Innerhalb des Themenfeldes 1 erfolgen die meisten Analysen und Bewertungen zur zukünftig möglichen Belastung des Verkehrssystems durch Klimawandel und Extremereignisse basierend auf Klimamodellsimulationen unter den Treibhausgaskonzentrationsszenarien (RCP: *Representative Concentration Pathways*; Moss et al. 2010) RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Diese RCP-Szenarien fassen mögliche zukünftige Entwicklungen der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre zusammen, wie sie durch unterschiedliche Szenarien der sozioökonomischen Entwicklung (SSP: *Shared Socioeconomic Pathways*; O’Neill et al., 2014; van Vuuren et al., 2014) erreicht werden können. Dadurch wird unter Nutzung von Modellensembles die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen von für das Verkehrssystem relevanten meteorologischen, ozeanographischen und hydrologischen Indizes bewertbar.

Stresstestszenarien: Ein alternativer Ansatz zur Bewertung der Auswirkungen von Extremereignissen ist die Definition sogenannter Stresstestszenarien. Hier wird – zunächst einmal unabhängig von der mittels Modellen projizierten Klimaentwicklung – ein Szenario definiert, das eine besonders große, theoretisch mögliche aber bislang evtl. noch nicht beobachtete Belastung für das betrachtete System darstellt. Durch die hypothetische Annahme einer extremwetterbedingten, langandauernden Sperrung oder deutlichen Kapazitätseinschränkung ausgewählter Streckenabschnitte im deutschen Verkehrsnetz, werden die Auswirkungen solcher potentiell möglichen Ereignisse auf überregionale Verkehrsströme und entsprechende Verkehrsverlagerungsmöglichkeiten bewertbar. Auf Basis des damit generierten Systemverständnisses können Rückschlüsse auf die Belastbarkeit und Redundanz des Verkehrssystems im Untersuchungsgebiet gezogen und unterschiedliche Reaktions- bzw. Anpassungsmöglichkeiten diskutiert werden.

In weiteren anschließenden Untersuchungen können dann gesamthafte Aussagen entwickelt werden, inwieweit die extremen Bedingungen der Stresstestszenarien im Ensemble der projizierten Klimaentwicklungen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auftreten und somit vor dem Hintergrund des anthropogen verstärkten Klimawandels "real" werden könnten. Dieser Analyseschritt wird in der zweiten Phase des BMVI-Expertenetzwerks umgesetzt.

1.4 Zielstellung des Projektes „Stresstestszenarien Mittelrhein“

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden für den Mittelrhein verkehrsträgerübergreifende, die Straße, Schiene und das Binnenschiff betreffende, Stresstestszenarien entwickelt und angewendet. Ziel ist neben der Beschreibung und Quantifizierung der Wirkungen von lokalen Verfügbarkeitseinschränkungen der Infrastruktur auf die lokalen und überregionalen Verkehrsströme im Untersuchungsgebiet auch die Erarbeitung einer verkehrsträgerübergreifenden Gesamtsicht bzw. eines intermodalen Systemverständnisses bezüglich des Zusammenwirkens von Infrastruktur und Verkehrsströmen. Das ist vor allem in Hinblick auf die Bewertung von Betroffenheiten und die Einstufung möglicher Anpassungsoptionen im Kontext verkehrsträgerübergreifender Forschung und Entwicklung von Bedeutung. Basierend auf System- und Verkehrsdaten der BVWP (BMVI 2016) und der Verkehrsverflechtungsprognose (BMVI 2015b) werden die Auswirkungen für die Verkehrssituation in 2010 und 2030 miteinander verglichen. Die Stresstestszenarien beziehen sich auf Extremereignisse und damit auf außergewöhnliche Verkehrsträgerausfälle auch in Bezug auf die Andauer der untersuchten Einschränkungen. Im Rahmen dieser Ereignisse kommt es zu einer substanziellen Verringerung der Transport- bzw. Infrastrukturkapazität bis hin zu einer Vollsperrung einzelner oder mehrerer Strecken bzw. Verkehrsträger. Dies ist mit entsprechenden Folgen auf allen Ausweichstrecken bzw. auf die Versorgungs- und Produktionssituation der davon betroffenen Teile der Bevölkerung oder Unternehmen verbunden.

Ziel der Analysen ist die Ableitung von Aussagen zur vorhandenen Klimaresilienz des Verkehrssystems unter Berücksichtigung von verkehrsträgerübergreifenden Verlagerungskapazitäten auf vorhandenen Ausweichstrecken für den Personen- und Güterverkehr sowie einer zeitlichen Verschiebung von Transporten ohne Umsetzung weiterer Anpassungen an der Infrastruktur. Potentiell mögliche und branchenspezifisch unterschiedliche Reaktionen der Verkehrsteilnehmer werden in Abhängigkeit der unterschiedlichen Ereignisfälle beschrieben.

Folgende Fragen werden im Rahmen der Projektbearbeitung adressiert:

- (1) Welche Verkehre sind von den durch das jeweilige Stresstestszenario definierten Restriktionen betroffen? Wie stark ist der Verkehr unter der definierten Dauer der Einschränkung betroffen und welche Branchen/Wirtschaftsbereiche betrifft es?
- (2) Wie reagieren die betroffenen Personen und Unternehmen (verladende Wirtschaft) auf die entstandenen Einschränkungen? Gibt es branchenbezogen unterschiedliche Anpassungsstrategien und wie sehen diese aus?
- (3) Welchen Einfluss hat die Dauer der Einschränkung auf die Anpassungsreaktion und die damit verbundenen Wirkungen?
- (4) Zu welchen Auswirkungen, wie z. B. Veränderungen der Transportkosten sowie Veränderungen der Lieferketten (Länge der Wege, Transport- und Reisedauer etc.) führen Einschränkungen der Infrastruktur?

1.5 Untersuchungsgebiet Mittelrhein

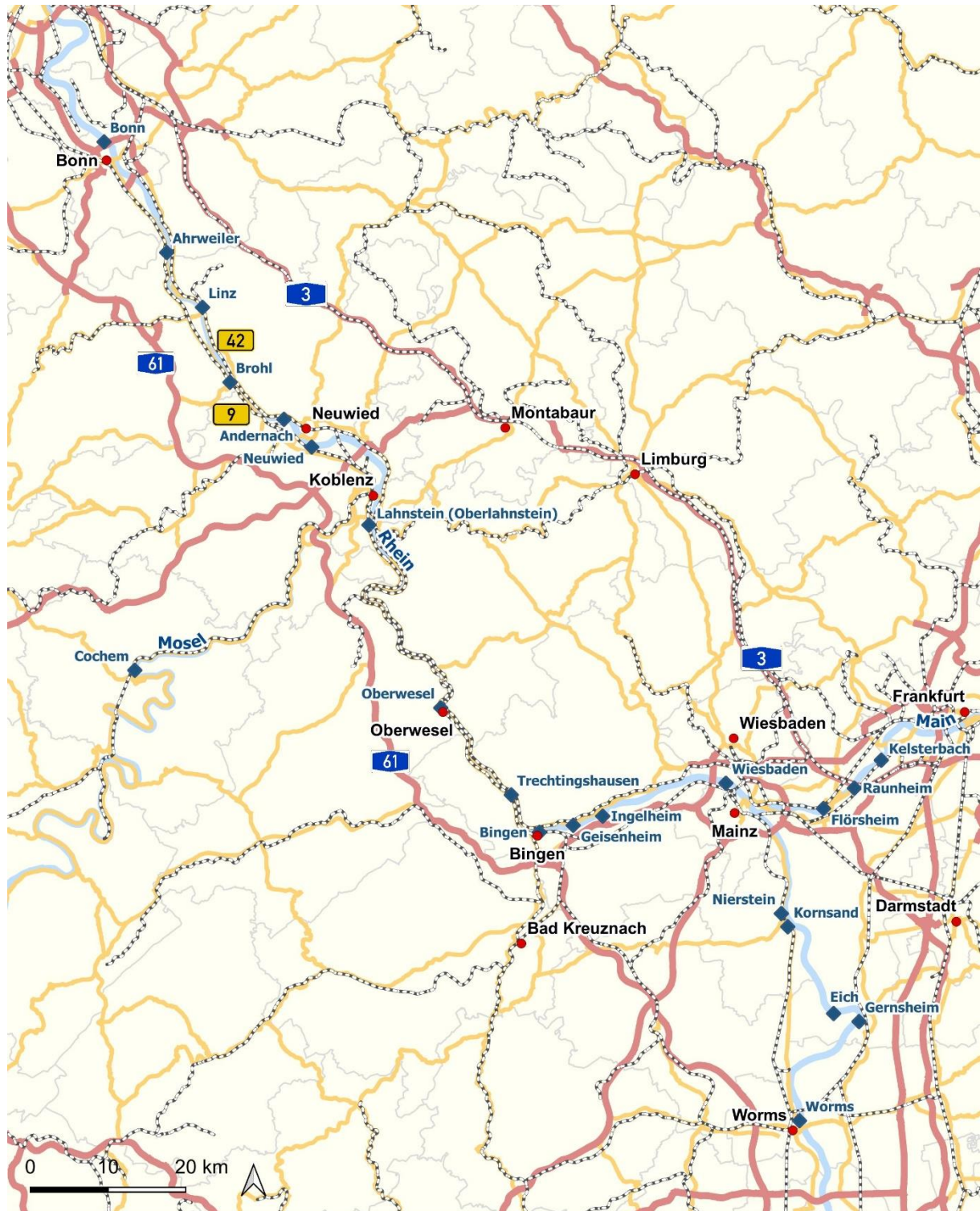
Der Verkehrskorridor des Mittelrheingebietes (Abbildung 1-2) – hier definiert als der Rheinabschnitt von der Nahemündung in Bingen bis zur Mündung der Sieg bei Bonn – umfasst zum einen mit dem Rhein die wichtigste deutsche Binnenschiffahrtsstraße², zwei mit Güter- und Personenverkehr hoch belastete Eisenbahnstrecken auf beiden Seiten des Rheins sowie zwei parallel dazu verlaufende, stark frequentierte Bundesstraßen (B9, B42). Zum anderen sind im Hinterland des Rheins zwei Autobahnen als mögliche Ausweichoptionen im Einschränkungsfall vorhanden sowie mehrere teilweise trimodal ausgestattete Hafendstandorte für erforderliche Verkehrsverlagerungen.

Das Mittelrheineinzugsgebiet hat naturräumlich sowohl Anteil am Rheinischen Schiefergebirge (inkl. Eifel, Westerwald, Hunsrück und Taunus) als auch an kleineren Teilen des nördlichen Oberrheintieflands und des Saar-Nahe-Berg- und Hügellandes (MUFV-RLP 2005). Das Klima im Mittelrheintal ist regenarm (500–650 mm/Jahr), in den Mittelgebirgslandschaften im Einzugsgebiet liegt dagegen die Niederschlagsmenge bei 700–900 mm/Jahr und im westlichen Hunsrück sowie in Teilen des Westerwalds lassen sich sogar Niederschlagsmengen von bis zu 1100 mm/Jahr finden (MUFV-RLP 2005).

Wie der nördlichste Abschnitt des Oberrheins ist der Abfluss des Mittelrheins aufgrund der Zuflüsse aus den Mittelgebirgen zunehmend pluvial³ geprägt. Das aus den Alpen stammende und bis zur Main-Mündung bestimmende nival geprägte Abflussregime wird zunehmend überlagert (komplexes Abflussregime). Die Mosel trägt deutlich zum Abflussgeschehen des Rheins bei. Typisch für den mittleren Jahresgang des Abflusses im Mittelrheingebiet sind zwei Abflussmaxima (Dezember-März und Juni-Juli) zu erkennen (Abbildung 1-3), die durch die oben erwähnte Überlagerung eines nivalen mit einem pluvialen Regimes entstehen (Belz et al. 2007, MUFV-RLP 2005).

² Im Bereich des Niederrheins zwischen Duisburg und deutsch-niederländischer Grenze finden rd. 75% der deutschen Binnenschifftransporte statt.

³ Das Abflussregime bezeichnet den jahreszeitlichen Verlauf der Wasserführung in einem Fließgewässer. Es werden glaziale (bei Gletscherbedeckung des Einzugsgebietes), nivale (Einflüsse der Schneeschmelze im Gebirge) und pluviale Regime (Regenregime) unterschieden.



Verkehrsinfrastruktur in der Mittelrheinregion

- Wasserweg
- Bundesautobahn
- Bahnstrecke
- Bundesstraße
- ◆ Hafen
- Kreisgrenze



Straßennetz: NEMOBFStr Netzmodell für die Bundesfernstraßenplanung
 Kreisgrenzen: © GeoBasis-DE / BKG 31.12.2015
 Bahnstrecken: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), Deutsche Bahn
 Wasserwege: © EuroGeographics 2016

Abbildung 1-2: Verkehrsinfrastruktur in der Mittelrheinregion (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

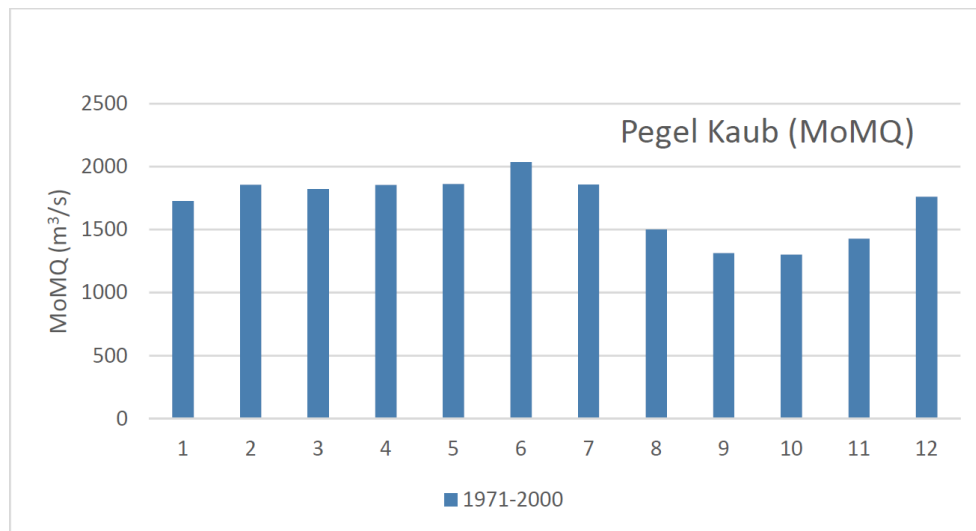


Abbildung 1-3: Vieljähriger mittlerer Monatsabfluss am Pegel Kaub (Mittelrhein) (Daten: WSV, Auswertung: BfG, basierend auf WSV 2007).

2 Daten und Methoden

- Für die Bewertung der potentiellen extremwetterbedingten Einflüsse auf die Verkehrsströme im Mittelrheingebiet wurden fünf Stresstestszenarien definiert, welche bewusst extreme Annahmen treffen und zu langandauernden (21 bzw. 180 Tage) Sperrungen bzw. Einschränkungen des Verkehrs auf Straße, Schiene und/oder Wasserstraße führen.
- Diese fünf – z. T. mehrere Verkehrsträger betreffende – Stresstestszenarien umfassen einen Felssturz an der Loreley, eine Hochwassersituation im Bereich Oberwesel, eine Niedrigwassersituation am Pegel Kaub, ein Extremereignis auf der BAB 3 zwischen den Ausfahrten Dierdorf und Ransbach-Baumbach sowie ein Extremereignis auf der zweigleisigen elektrifizierten Moselstrecke 3010 zwischen Koblenz und Trier (Abschnitt zw. Koblenz-Güls und Winningen).
- Grundlage für die Verkehrsstrommodellierungen im Mittelrheingebiet stellen die Grundlagendaten zum Verkehr (Güter und Personen) sowie die Verkehrsnetze dar, die in der Bundesverkehrswegeplanung u. a. im Rahmen der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 erstellt und genutzt werden.
- Die sich aus den definierten Stresstestszenarien ergebenden verkehrlichen Effekte werden durch den Vergleich zwischen der Situation mit und ohne Beeinträchtigung ermittelt. Mittels einer Verkehrsumlegung werden modellhaft die Alternativwege innerhalb des betroffenen Verkehrsträgers, Veränderungen in der Auslastung der Infrastruktur mit ihren Auswirkungen und Verlagerungsmöglichkeiten auf andere Verkehrsträger geprüft. Dabei werden typische Anpassungsreaktionen von Wirtschaftssubjekten an vorliegende Verkehrseinschränkungen einbezogen.
- Die aus den Szenarienannahmen resultierenden verkehrlichen Effekte (z. B. Mehraufwand in Fahrzeiten und Fahrzeugkilometern, Höhe der verlagerten Verkehre, Transportkostendifferenzen im Güterverkehr) werden basierend auf den Verkehrsmatrizen der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 für den Güter- und den Personenverkehr dargestellt.

2.1 Definition der Stresstestszenarien

2.1.1 Auswahl der untersuchten Szenarien

In den lokalen Medien wird recht häufig über extreme Wetterereignisse und deren Auswirkungen auf den Verkehr im Mittelrheingebiet und angrenzenden Regionen berichtet. Dies betrifft insb. die Ereignisse Hangrutschung, Hochwasser, Niedrigwasser und Sturm sowie Kombinationen dieser Einzelereignisse. Exemplarisch dargestellt ist in Abbildung 2-1 die Häufigkeit der Nennung dieser Ereignisse in Presstexten zwischen 2011 und 2018. Grundsätzlich lässt sich auf Basis dieser Datenlage nicht feststellen, ob die Artikelanzahl von der Schwere und Häufigkeit der Ereignisse abhängig ist oder ob auf einigen Ereignissen bzw. Verkehrsträgern lediglich ein größeres Augenmerk der Presse liegt. Es wird jedoch deutlich, dass im Untersuchungsgebiet Verkehrsbeeinträchtigung durch Extremereignisse eine gewisse Relevanz haben.

Im Rahmen des hier vorgestellten Stresstestprojektes wurden fünf Extremereignisse definiert und auf ihre Auswirkungen untersucht. Hierbei handelt es sich um ein extremes Hoch- und ein extremes Niedrigwasser, einen Felssturz sowie zwei durch Böschungsschäden verursachte Vollsperrungen einer Bundesautobahn bzw. einer überregionalen Schienenstrecke. Diese fünf Ereignisse können bezüglich der Wirkungsdauer auf die Verkehrsinfrastruktur in kurzzeitige und langanhaltende Beeinträchtigungen bzw. Sperrungen der jeweiligen Verkehrsträger differenziert werden. Für die Szenarien Felssturz und Hochwasser wird dabei eine 3-wöchige Sperrzeit (21 Tage) angenommen, während Niedrigwasser und durch Böschungsschäden bedingte Sperrungen der BAB 3 und der Moselstrecke mit langfristigen Sperrungen von etwa einem halben Jahr (180 Tage) verbunden sind. Die Wirkungsbetrachtung der Sperrung im Rahmen der Szenarien Felssturz, Hochwasser

und Niedrigwasser werden für den Verkehrszustand der Jahre 2010 und 2030 gerechnet, die beiden das Hinterland betreffenden Ereignisse (Szenario 4 und 5 zu Böschungsschäden) nur für das Prognosejahr 2030.

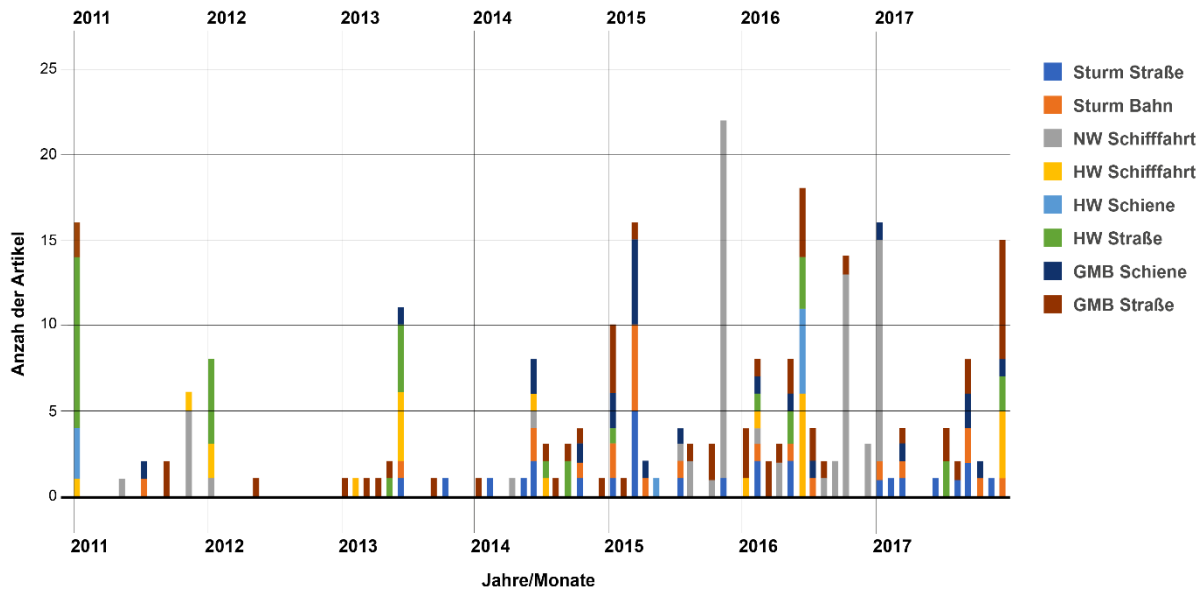


Abbildung 2-1: Zeitliche Verteilung der Artikel zu den vier untersuchten Ereignistypen (Sturm, NW: Niedrigwasser, HW: Hochwasser, GMB: gravitative Massenbewegung) mit Auswirkungen auf die Schiene, Straße und Wasserstraße in den betrachteten Regionen (Mittelrheinregion sowie die Bundesländer Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Hessen). Abgewandelt nach Kotzagiorgis et al. (2019).

2.1.2 Szenario 1 – Felssturz

Im Szenario 1 wird ein Ausfall der B 42 und der rechtsrheinischen Schienenstrecke südlich der B 247 (St. Goarshausen – Ortsteile Schlaadt und Heide; Streckennummer 3507) zwischen St. Goarshausen und Kaub aufgrund eines Felssturzes an der Loreley angenommen (siehe Abbildung 2-2). Die Verortung der gravitativen Massenbewegung wurde anhand der Rutschungsdatenbank Rheinland-Pfalz (Abbildung 2-3) vorgenommen.

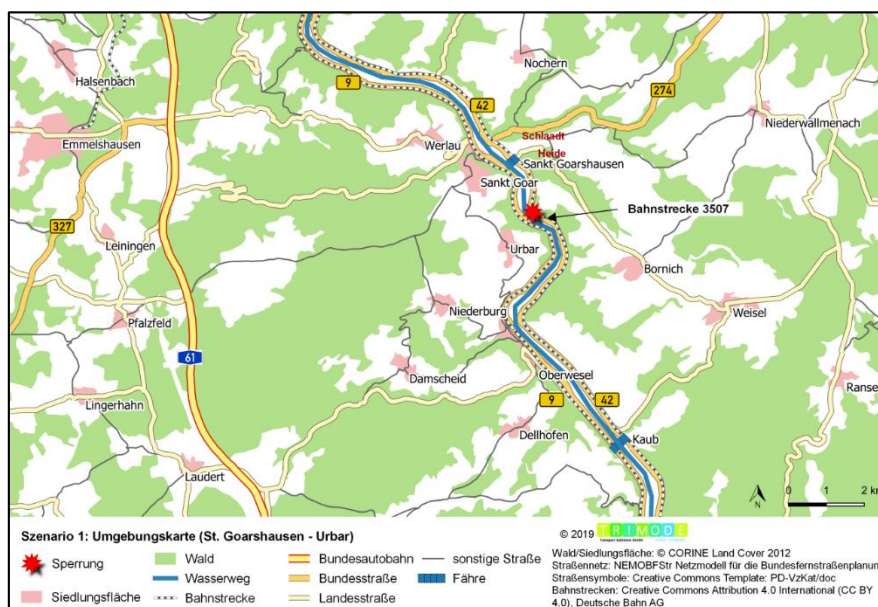


Abbildung 2-2: Szenario 1 – Räumliche Verortung der Sperrung von Straße und Schiene sowie regionale Infrastruktursituation (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

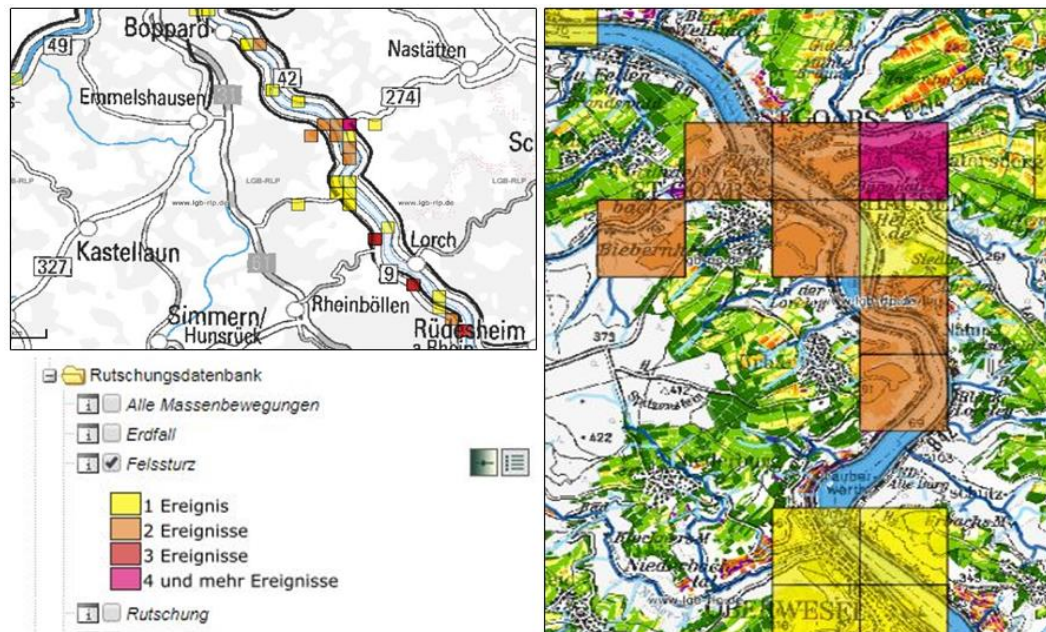


Abbildung 2-3: Ausschnitte aus der Online-Anwendung der Rutschungsdatenbank; Ausschnitt 1 (links): Boppard bis Rüdesheim, Ausschnitt 2 (rechts): Zoom auf Sankt Goar (Quelle: lgb-rlp.de ; Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Datengrundlage: Geobasisinformationen der Vermessungs- und Katasterverwaltung).

Das Szenario umfasst folgende Annahmen:

- Die Strecke wird für einen Zeitraum von 21 Tagen voll gesperrt.
- Personenverkehr: Im Schienenpersonennahverkehr wird ab dem ersten Sperrtag ein Schienenersatzverkehr zwischen St. Goarshausen und Kaub eingerichtet. Der Straßenpersonenverkehr wird sofort ab Eintritt der Sperrung über Alternativrouten abgewickelt.
- Güterverkehr: Im Güterverkehr wird sowohl bei der Straße als auch bei der Schiene nach Alternativrouten gesucht (ab dem 1. Sperrtag). Für den Fall, dass Verkehre per Bahn aus Kapazitätsgründen abgewiesen werden müssen, werden Verlagerungsmöglichkeiten per Binnenschiff und Straße geprüft. Für die Verlagerung aufs Binnenschiff wird von einer erforderlichen Bereitstellungszeit von einer Woche ausgegangen⁴. In der Zwischenzeit werden die Waren bei den betroffenen Unternehmen zwischengelagert und konzentriert abgefahren. Der Ersatztransport auf der Straße startet ab dem 3. Sperrtag, da die erforderlichen Lkw in der Regel nach wenigen Tagen zur Verfügung stehen.

2.1.3 Szenario 2 – Hochwasser

Im Rahmen des alle drei Verkehrsträger betreffenden Hochwasserszenarios tritt der Rhein im Bereich Oberwesel (südlich von St. Goar) über die Ufer (Abbildung 2-4). Dies führt neben der Sperrung des Rheins für den Schiffsverkehr zu einer Sperrung der B9 bei Oberwesel und einer Sperrung der Schienenstrecke zwischen Oberwesel und Bacharach. Darüber hinaus wird der Fährverkehr zwischen Lorch und Niederrheinbach sowie zwischen St. Goar und St. Goarshausen geschlossen. Für die Verortung der Überflutung wurden Regelwerke, Informationen lokaler Feuerwehren und die "Zentrale Hochwasserdienstordnung Rhein und Main" verwendet. In der Regel wirken sich Hochwasserereignisse räumlich über größere Gebiete aus. Hier

⁴ Dies gilt nur für konventionelle Verkehre. Kombinierte Verkehre können aufgrund der Existenz von Liniendiensten (in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von Reserven) sofort zwischen Bahn- und Binnenschiff wechseln.

wird jedoch nur von einem regionalen, ausschließlich dem Raum Oberwesel betreffenden, Hochwasser ausgegangen, welches zu keiner Veränderung der Schifffahrtsverhältnisse nördlich von Sankt Goar bzw. südlich von Trechtinghausen führt.

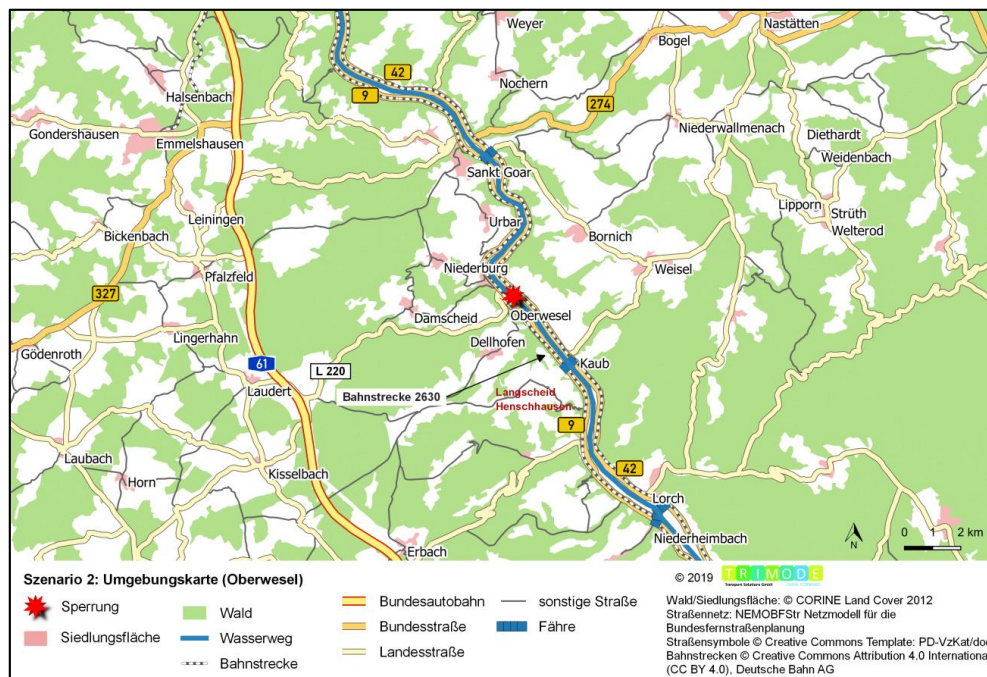


Abbildung 2-4: Szenario 1 – Räumliche Verortung der Sperrung von Straße, Schiene und Wasserstraße sowie regionale Infrastruktursituation (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

Zur Festlegung des Szenarios wurde durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) eine Analyse basierend auf dem Wasserstand am Pegel Kaub durchgeführt. Für das Szenario wird ein Schwellenwert des Wasserstandes von 6,40 m angenommen. Dieser Wasserstand entspricht am Pegel Kaub einer Fahrrinntiefe von 7,52 m und einem Abfluss von 5.014 m³/s. Dieser höchste Schifffahrtswasserstand HSQ II wurde der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung (RheinSchPV, 2016) entnommen. Die Analyse zeigte, dass beim Hochwasserereignis von 1988 im Zeitraum 1821–2015 der Schwellenwert HSQ II⁵ mit Abstand am längsten kontinuierlich überschritten wurde und zwar für 18 Tage (Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6). Dabei wurde eine kurzfristige Unterbrechung (≤ 3 Tage) der Unterschreitung vernachlässigt, da in einer solchen Zeitspanne eine effektive Wiederaufnahme der Schifffahrt nicht möglich ist. In einer Wahrscheinlichkeitsanalyse für die Serie maximaler jährlicher HSQ-Dauern 1821–2015 lässt sich für das Hochwasserereignis 1988 ein Wiederkehrintervall von 225 Jahren abschätzen. Für die Festlegung des Stresstestszenarios wird noch ein Zeitzuschlag von 3 Tagen für die Wiederherstellung des Schiffsverkehrs einbezogen, wodurch es zu einer 21-tägigen Sperrung des Schiffsverkehrs kommt.

Das Szenario umfasst folgende Annahmen:

- Die Strecke wird für einen Zeitraum von 21 Tagen voll gesperrt.
- **Personenverkehr:** Im Schienenpersonennahverkehr wird ab dem ersten Sperrtag ein Schienenersatzverkehr zwischen Oberwesel und Bacharach eingerichtet. Die im linksrheinischen Abschnitt verkehrenden Züge des Schienenpersonennahverkehrs zwischen Koblenz und Mainz werden über die höher liegende rechtsrheinische Strecke geführt. Der Straßenpersonenverkehr wird sofort ab Eintritt der Sperrung über Alternativrouten abgewickelt. Dies gilt sowohl für die Verkehre, die über die betroffenen Abschnitte auf der B9 verlaufen, als auch für die betroffenen Fährverkehre.

⁵ Der HSQ ist der zum HSW zugehörige Abflusswert.

- Güterverkehr:** Im Güterverkehr wird ab dem 1. Sperrtag sowohl bei der Straße als auch bei der Schiene nach Alternativrouten gesucht. Für den Fall, dass Verkehre per Bahn aus Kapazitätsgründen abgewiesen werden müssen, werden Verlagerungsmöglichkeiten per Straße geprüft. Diese Ersatztransporte auf der Straße starten ab dem 3. Sperrtag, da die erforderlichen Lkw in der Regel nach wenigen Tagen zur Verfügung stehen. Verlagerungen aufs Binnenschiff, wie in Szenario 1 angenommen, sind nicht möglich, da dieser Verkehrsweg hochwasserbedingt gesperrt ist. Die Sperrung des Wasserstraßenabschnittes im Raum Oberwesel führt dazu, dass auch die betroffenen Binnenschiffsverkehre nach alternativen Transportmöglichkeiten auf der Straße oder der Schiene suchen, soweit solche Transporte aufgrund von Lagerkapazitäten unterhalb des Sperrzeitraumes für bestimmte Güter erforderlich werden. Da Binnenschiffs- und Schienenverkehre aufgrund ihrer Ladungscharakteristika sehr homogen sind, wurde für diese Binnenschiffsverkehre zuerst geprüft, in welcher Höhe Restkapazitäten der Schiene für die alternative Beförderung genutzt werden können. Lediglich die aus Kapazitätsgründen nicht über die Schiene abwickelbaren Verkehre wurden auf die Straße verlagert. Für die Verlagerung der Binnenschiffsverkehre auf die Schiene wurde eine Anlaufphase von mindestens 10 Kalendertagen berücksichtigt⁶. In der Zwischenzeit werden die Waren, wie auch in Szenario 1, bei den betroffenen Unternehmen zwischengelagert und zu einem anderen Zeitpunkt abgefahren.

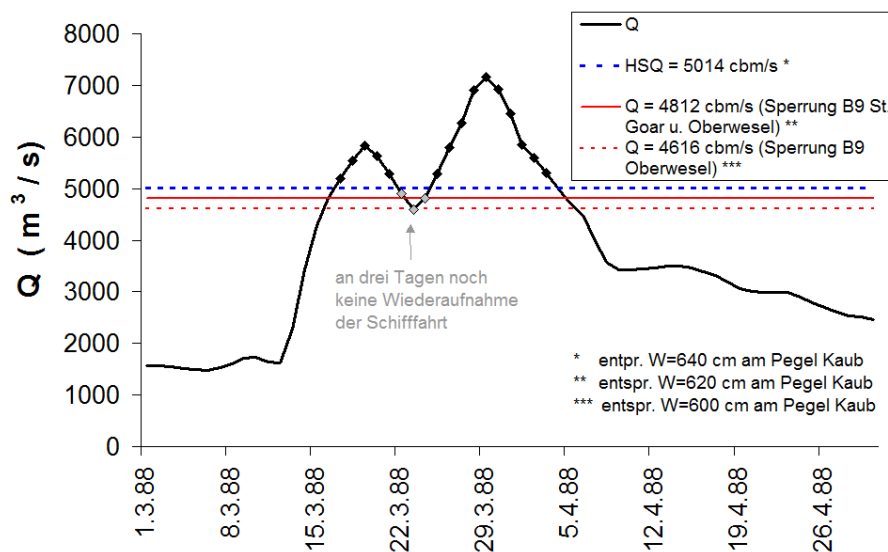


Abbildung 2-5: Abflussganglinie des Pegels Kaub für das Hochwasserereignis 1988 mit ausgewählten, verkehrsrelevanten Schwellenwerten. (Quelle: BfG).

⁶ Dies gilt nur für konventionelle Verkehre. Kombinierte Verkehre können aufgrund der Existenz von Liniendiensten (in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von Reserven) sofort zwischen Bahn- und Binnenschiff wechseln.

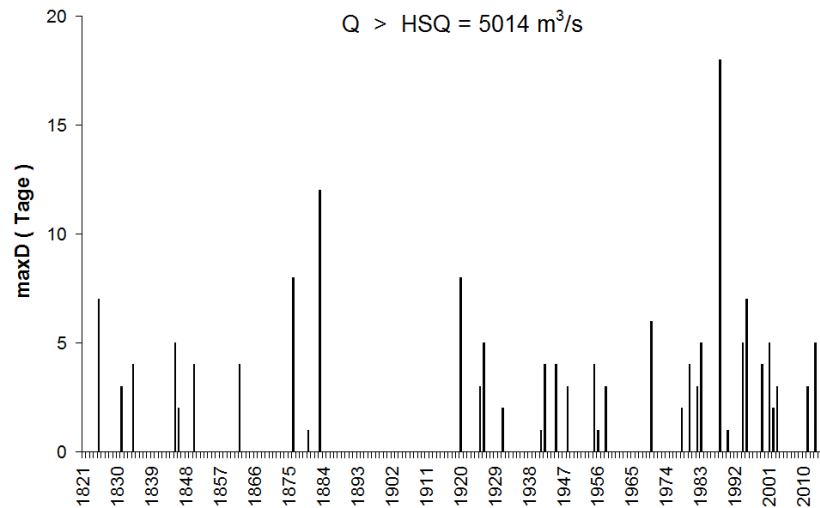


Abbildung 2-6: Serie jährlich maximaler, kontinuierlicher Überschreitungsdauern (maxD) des Abflussschwellenwerts HSQ-II am Pegel Kaub für die Abflussjahre 1821 bis 2015 (Quelle: BfG).

2.1.4 Szenario 3 – Niedrigwasser

Im Szenario 3 wird eine Niedrigwassersituation am Pegel Kaub (Abbildung 2-7) angenommen, bei der für 180 Tage der Pegel auf 53 cm sinkt⁷. Diese Situation führt nicht zu einem Transportausfall der gesamten Rheinflotte, wie in Szenario 2, wohl aber zu erheblichen Einschränkungen der Binnenschifffahrt. Binnenschiffe, die über den Raum Kaub⁸ verkehren, können diesen nur mit einer Abladetiefe von 135 cm, anstatt der in den anderen Szenarien angenommenen Regelabladetiefe von 250 cm, befahren. Hierdurch sinkt die durchschnittlich mögliche Schiffsbeladung von 1.750 t (2010) auf knapp 650 t bzw. um 65 %.

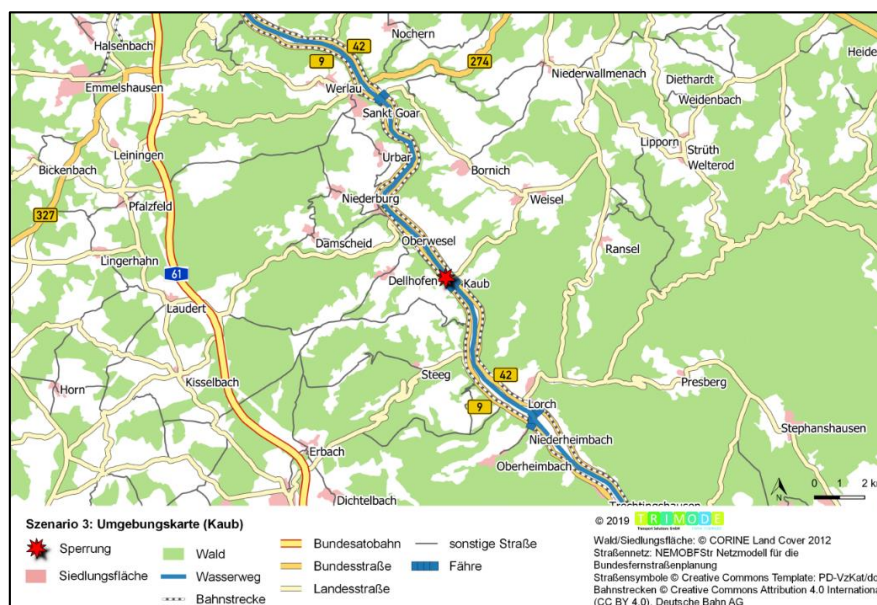


Abbildung 2-7: Szenario 3 – Räumliche Verortung der Verkehrseinschränkung am Rhein und regionale Infrastruktursituation (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

⁷ Ähnlich wie in Szenario 2 werden auch hier aus räumlicher Sicht keine weiteren negativen Auswirkungen auf die Pegel in Koblenz und Bingen bzw. in den anderen Rheinabschnitten angenommen.

⁸ Abgebildet wurde dies im Raum Oberwesel – Geisenheim. Aufgrund des Fehlens von eingehenderen Untersuchungen wurde auf die Untersuchung von Auswirkungen auf nördlich und südlich davon gelegene Orte verzichtet.

Ein Wasserstand von 53 cm am Pegel Kaub entspricht einer Fahrrinntiefe von ca. 1,65 m und einem Abfluss von 661 m³/s. Der Abfluss ergibt sich aus der derzeit (2018) gültigen Wasserstands-Abfluss-Beziehung. Die Fahrrinntiefe errechnet sich über die derzeit von der WSV vorgehaltene Fahrrinntiefe von 190 cm unter dem GIW⁹, der aktuell einem Stand von 78 cm am Pegel Kaub entspricht. Bei einem Wasserstand von 53 verbleibt demnach noch eine Tiefe von 165 cm in der Fahrrinne. Unter Berücksichtigung einer Sicherheitsmarge von 30 cm verbleibt eine Abladetiefe von 135 cm. Nach Analysen der jährlich maximalen, kontinuierlichen Unterschreitungsdauern des kritischen Niedrigwasser-Abflusswertes von 661 m³/s (Abbildung 2-9) stechen zwei Jahre besonders hervor. Das Niedrigwasserereignis von 1857 dauerte rund 130 Tage (Wiederkehrzeit etwa 250 Jahre) und das von 1949 rund 110 Tage (Wiederkehrzeit etwa 150 Jahre; vgl. Abbildung 2-8 bis Abbildung 2-10).

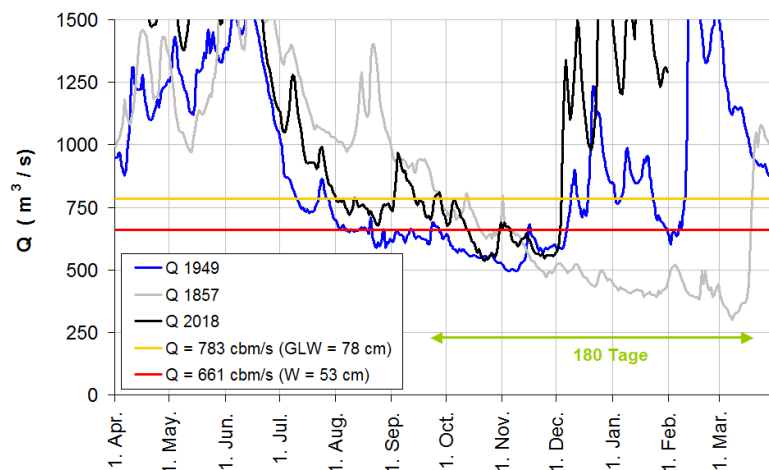


Abbildung 2-8: Abflussganglinien verschiedener, extremer Niedrigwasserereignisse am Pegel Kaub mit ausgewählten, schifffahrtsrelevanten Schwellenwerten. Die in dieser Studie angenommene Unterschreitungsdauer von 180 Tagen für den Wasserstand von 53 cm ist zum Vergleich eingezeichnet (Quelle: BfG).

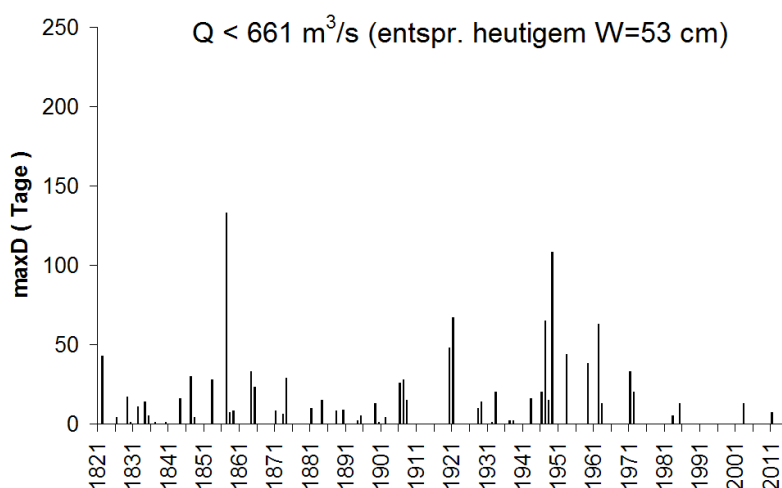


Abbildung 2-9: Serie jährlich maximaler, kontinuierlicher Unterschreitungsdauern (maxD) des Niedrigwasserabflussschwellenwertes $Q = 661 \text{ m}^3/\text{s}$ (heute $W = 53 \text{ cm}$, $h = 165 \text{ cm}$) am Pegel Kaub für die Wasserhaushaltsjahre 1821 bis 2015 (Quelle: BfG).

⁹ Der gleichwertige Wasserstand ist ein niedriger Schwellenwert, der definitionsgemäß im langjährigen Mittel an nicht mehr als 20 eisfreien Tagen unterschritten wird.

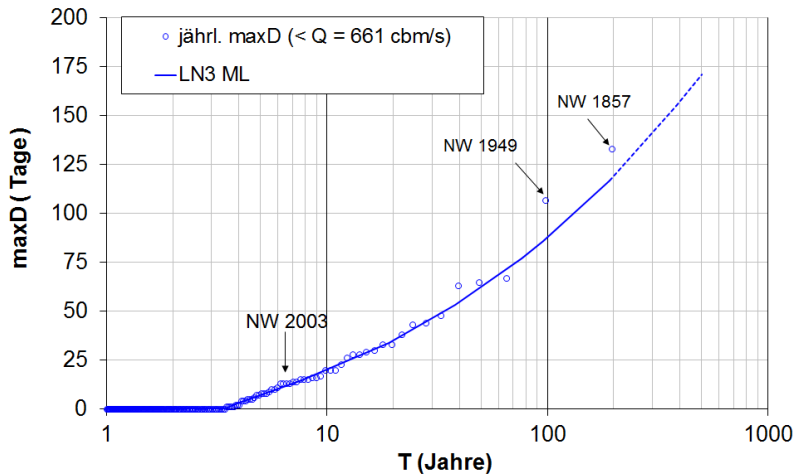


Abbildung 2-10: Serie jährlich maximaler, kontinuierlicher Unterschreitungsauern ($\max D$) des Niedrigwasserabflussschwellenwertes $Q = 661 \text{ m}^3/\text{s}$ (heute $W = 53 \text{ cm}$, $h = 165 \text{ cm}$) am Pegel Kaub für die Wasserhaushaltsjahre 1821 bis 2015 im Wahrscheinlichkeitsdiagramm ($\max D$ vs. statistisches Wiederkehrintervall T) mit angepasster Verteilungsfunktion (Quelle: BfG).

Die Niedrigwassersituation führt zu einer deutlichen Erhöhung der Binnenschiff-Transportkosten, was die Unternehmen dann dazu veranlasst, nach Alternativen zu suchen. Ausgehend von den Transportkostenveränderungen werden Verkehre entweder weiterhin per Binnenschiff zu Niedrigwasserkosten oder aber auch günstiger per Bahn oder Lkw transportiert. Die sich hieraus ergebenden verkehrlichen Mehrkosten werden im Rahmen der Szenarienrechnung abgeschätzt. Den Szenarienrechnungen liegen dabei folgende Annahmen zugrunde:

- Es werden ausreichende Kapazitäten an Schiffen, Zügen, Wagen, Lkw und anderen Anlagen (Gleiskapazitäten in den Anlagen des Güterverkehrs, Umschlaggeräte, Rangierkapazitäten etc.) auch für Verlagerungen auf andere Verkehrsträger angenommen.
- Zusätzlich entstehende Transportkosten können an die Marktteilnehmer weitergegeben werden und führen nicht zu Produktionseinschränkungen.

2.1.5 Szenario 4 –Längerer Ausfall eines Bundesautobahnabschnittes

Szenario 4 sieht den Ausfall der BAB 3 zwischen der Ausfahrt Dierdorf und der Ausfahrt Ransbach-Baumbach vor (Abbildung 2-11). Der Abschnitt wird aus hier für einen Zeitraum von 180 Tagen gesperrt (z. B. aufgrund eines Böschungsschadens). Die Bahn- und Binnenschiffsinfrastruktur wird in diesem Szenario nicht beeinträchtigt. Die betroffenen Straßenverkehre werden auf Alternativwege umgeleitet.

2.1.6 Szenario 5 – Längerer Ausfall eines Schienenteilabschnitts an der Mosel

Szenario 5 sieht den Ausfall der zweigleisigen elektrifizierten Moselstrecke 3010 zwischen Koblenz und Trier im Abschnitt zwischen Koblenz-Güls und Winnigen vor (Abbildung 2-12). Der Abschnitt wird im Rahmen des Stresstests für einen Zeitraum von 180 Tagen beidseitig gesperrt (z. B. aufgrund eines Böschungsschadens). Die B 416 ist vom Ereignis nicht betroffen und für den Verkehr freigegeben.

Im Schienenpersonennahverkehr wird ab dem ersten Sperrtag für die Zeit der Sperrung ein Schienenpersonenersatzverkehr zwischen Koblenz-Güls und Winnigen eingesetzt. Im Schienengüterverkehr werden ab dem ersten Tag der Sperrung Alternativrouten gefahren. In der Regel können jedoch aufgrund von Kapazitätsengpässen die Verkehre auf den Alternativrouten nicht vollständig umgesetzt werden. In diesen Fällen müssen Verkehre auf das Binnenschiff und auf die Straße verlagert werden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die von der Schiene auf die Straße verlagerten Verkehre ab dem 3. Tag gleichmäßig abtransportiert werden, bei der Binnenschiffahrt ab dem 8. Sperrtag.

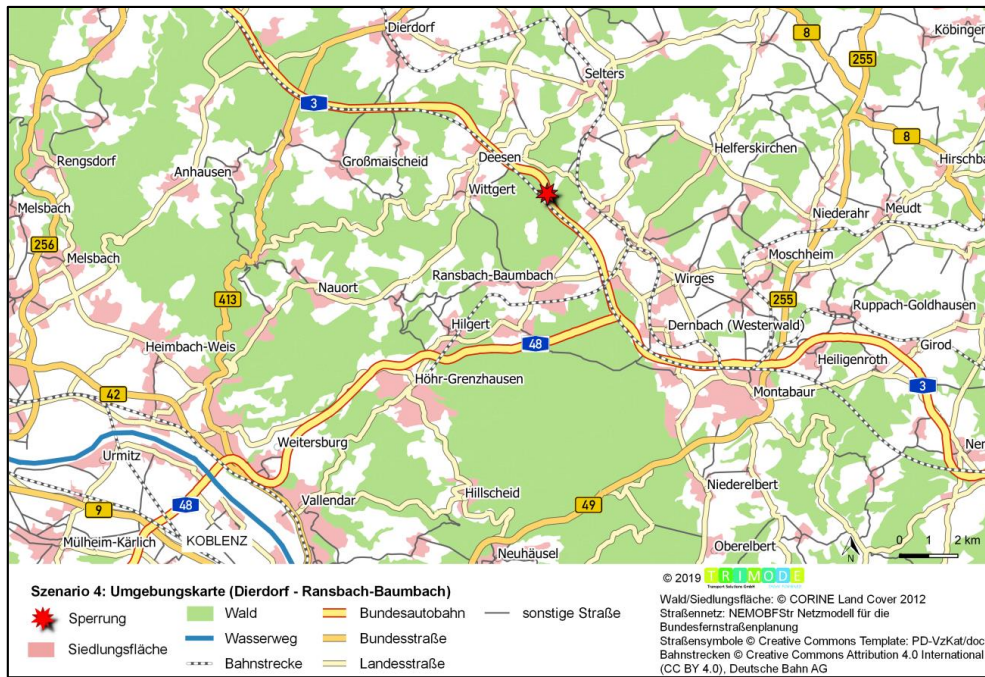


Abbildung 2-11: Szenario 4 – Räumliche Verortung der Streckensperrung und regionale Infrastruktursituation (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

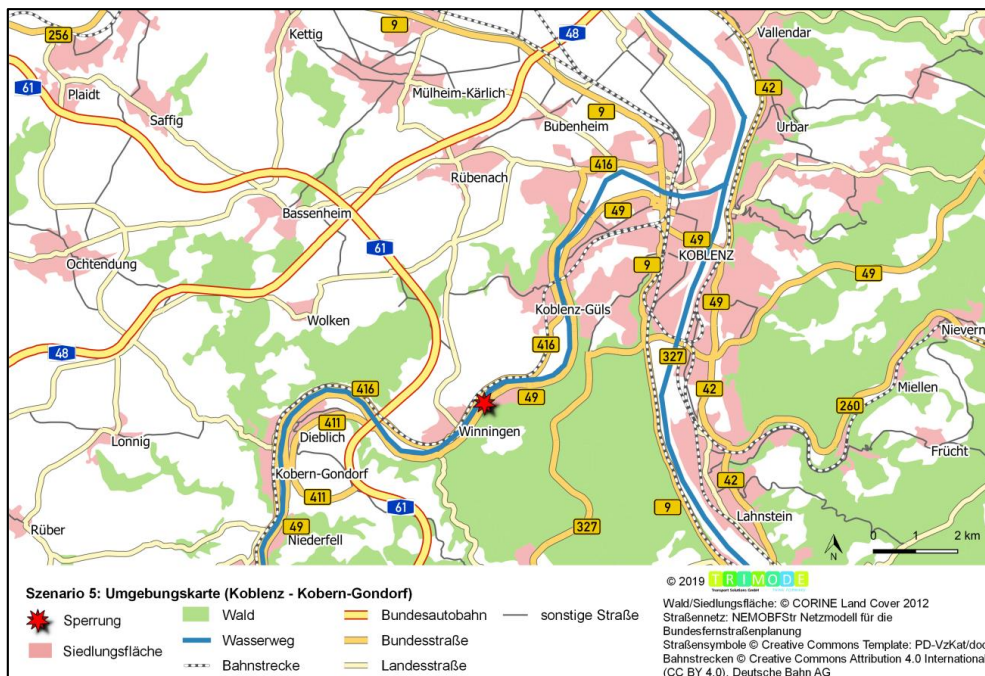


Abbildung 2-12: Szenario 5 – Räumliche Verortung der Streckensperrung und regionale Infrastruktursituation (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

2.2 Methodische Vorgehensweise der Wirkungsanalyse

Über die Arbeiten zur BVWP liegen umfangreiche Informationen vor, die eine Beschreibung der Verkehrssituation in Deutschland ermöglichen. Hierbei handelt es sich um

- a) detaillierte Verkehrsverflechtungsmatrizen im Personen- und Güterverkehr mit Angabe der Quell-Ziel-Beziehung,
- b) detaillierte Beschreibungen der jeweiligen Infrastrukturnetze aller Verkehrsträger (sog. Netzmodelle),
- c) Querschnittsdaten, Ansätze und Annahmen die unter Nutzung der beiden vorhergehenden Dateninformationen eine deutschlandweite Beschreibung der Verkehrssituation über alle Verkehrswege mittels sogenannter Verkehrsumlegungen erlauben.

Die oben genannten Informationen aus der BVWP liegen für zwei Verkehrszustände vor, die im Rahmen der Arbeiten zur Verkehrsverflechtungsprognose 2030 aufgebaut wurden:

- (1) für das Analysejahr 2010 der BVWP, wodurch eine vergangene Ist-Situation beschrieben werden kann, sowie
- (2) für das Prognosejahr 2030, worüber die zukünftig in Deutschland erwartete Verkehrssituation abgebildet werden kann.

Die Beschreibung der verkehrlichen Wirkungen in den definierten Stresstestszenarien erfolgt durch einen Vergleich zwischen der Verkehrssituation mit und ohne das definierte Extremereignis. Dazu wird im entsprechenden verkehrsträgerspezifischen Infrastrukturnetz (siehe Abschnitt 2.3.2) die vom Ereignis betroffene Netzkante für den Verkehr gesperrt und in einer anschließenden Verkehrsumlegung verkehrsträgerspezifisch geprüft,

- ob die von den Ereignissen betroffenen Verkehre über Alternativwege geführt werden können,
- ob sich durch diese Routenverlagerungen die Auslastung der Infrastruktur entscheidend verändert, sodass Verkehre abgewiesen werden müssen und auf
- andere Verkehrsträger verlagert werden können.

Durch die erneute verkehrsträgerspezifische Umlegung mit den in den Szenarien definierten Extremereignissen und dem Vergleich mit dem ereignisfreien Ursprungszustand werden folgende verkehrlichen Effekte berechnet:

- Mehraufwand in Fahrzeiten und Fahrzeug-Kilometern aufgrund von Umwegfahrten
- Höhe der Verkehre, die auf andere Verkehrsträger verlagert werden müssen
- Transportkostendifferenzen für die auf andere Verkehrsträger verlagerten Verkehre, insbesondere im Güterverkehr

Die sich aus den Extremereignissen ergebenden verkehrlichen Wirkungen werden sowohl für den Güter- als auch für den Personenverkehr dargestellt. Die verkehrlichen Effekte basieren auf den Verkehrsmatrizen und Verkehrsmodellen der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 und werden im Folgenden kurz beschrieben.

2.3 Grundlagendaten aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030

2.3.1 Verkehrsdaten der Verkehrsverflechtungsprognose

Um die Wirkungen des Stresstests beschreiben zu können, ist es wichtig zu wissen, welche Verkehre davon betroffen sind. Aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 (BMVI 2015b) stehen detailliertere Verkehrsmatrizen zur Verfügung, die für die Beschreibung der Wirkungen genutzt werden können.

Güterverkehr: Für den Güterverkehr wurde eine detaillierte Verkehrsverflechtungsmatrix aufgebaut, in der alle wesentlichen öffentlichen Daten des Statistischen Bundesamtes (Destatis; für Schiene und Binnenschifffahrt) bzw. des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA; für die Straße) integriert und in einer einheitlichen Datenbank verarbeitet wurden. Zudem wurden durch die inhaltliche Verknüpfung des Datenmaterials darüberhinausgehende Informationen erarbeitet. Zur Verfügung steht somit das Güterverkehrsaufkommen für das Berichtsjahr 2010 und das Prognosejahr 2030 und zwar

- modal nach den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Wasserstraße,
- relationspezifisch auf Kreisbasis im Inland sowie nach NUTS-Zonen¹⁰ im Ausland und
- gütergruppenspezifisch nach 25 detaillierten NST¹¹ 2007 Gütergruppen.

Seehäfen sind dabei als eigene Verkehrszellen abgespalten, um den Seehafenhinterlandverkehr mit den Westhäfen und den deutschen Nordseehäfen separat ausweisen zu können. Darüber hinaus stehen relationspezifische Informationen über den kombinierten Verkehr (KV) in der Differenzierung Ladung im Seehafenhinterlandcontainerverkehr (maritimer KV) oder im sonstigen kontinentalen KV zur Verfügung. Es liegen auch intermodale Transportketteninformationen für Verkehre zwischen den tatsächlichen Quell- und Zielregionen vor.

Für Umlegungszwecke sind die in den Matrizen enthaltenen Verkehrsdaten auf Kreisbasis zu stark aggregiert und können gerade in den größeren Flächenkreisen, bei einer Einspeisung der gesamten Verkehrsmenge über einen Anbindungspunkt, zu verzerrten Ergebnissen führen, da die genaue Quelle oder das Ziel oft unbekannt sind. Um dies zu vermeiden, wurden die Verkehrsmatrizen aus der Verkehrsverflechtungsprognose in nachfolgenden Arbeiten durch die Nutzung weiterer Daten und zum Teil unveröffentlichter Informationen von der Kreisbasis auf eine tiefere Ebene disaggregiert (BVU und ITP 2015, Lindner et al. 2020), sodass eine differenzierte und stärker lokalisierte sowie stark verbesserte Anbindung an das Netz möglich ist. Im Binnenschiffsverkehr erfolgte die Regionalisierung der Verkehrsrelationen auf Hafenebene¹², im Straßenverkehr auf Gemeindeebene (rd. 11.500 deutschlandweite Anbindungen ohne Ausland) und im Schienenverkehr auf rd. 700 deutschlandweite Verladepunkte.

Die Verkehrsverflechtungsprognose geht von einem Verkehrsaufkommen im Güterverkehr von etwa 4,4 Mrd. t für das Jahr 2030 und einem Anstieg um 0,8 % p. a. ab 2010 (3,7 Mrd. t) aus. Am stärksten wächst mit 24 % das Aufkommen der Schiene, während das Aufkommen der Straße mit 17 % leicht unterdurchschnittlich wächst (siehe Tabelle 2-1). Die Transportleistung wächst mit insgesamt 38 % von 607 Mrd. auf 838 Mrd. tkm deutlich stärker als das Transportaufkommen. Auch hier wächst die Schiene mit 43 % überdurchschnittlich, wobei die Transportleistung der Straße mit 39 % ebenfalls leicht über dem Durchschnitt liegt.

Motorisierter Personenverkehr: Im Personenverkehr stehen Verkehrsverflechtungsdaten für die Jahre 2010 und 2030 für den motorisierten Individualverkehr (MIV), den Eisenbahn- und Luftverkehr sowie den öffentlichen Straßenpersonenverkehr (ÖSPV) zur Verfügung. Im gesamten motorisierten Personenverkehr wächst das Verkehrsaufkommen zwischen 2010 und 2030 von 68,4 Mrd. auf 71 Mrd. Fahrten oder um 3,8 % (s. Tabelle 2-2). Der motorisierte Verkehr nimmt dabei um 3,8 % zu. Die Verkehrsleistung erhöht sich aufgrund des überproportional wachsenden Fernverkehrs und steigender Fahrtweiten deutlich stärker, nämlich insgesamt von 1.117 Mrd. Personenkilometern in 2010 auf 1.262 Mrd. Personenkilometer in 2030 oder um 12,9 %.

¹⁰ NUTS (Nomenclature des unités territoriales statistiques) ist eine hierarchische Systematik zur eindeutigen Identifizierung und Klassifizierung der räumlichen Bezugseinheiten der amtlichen Statistik in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union.

¹¹ NST (Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport) ist die Systematik für eine einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik.

¹² Hierfür wurden destatis-Daten aus dem Jahr 2007 als Orientierung benutzt. Hierüber können auch Verkehrszahlen für die Mittelrheinhäfen Linz, Neuwied, Andernach, Bendorf, Brohl, Koblenz, Lahnstein, Oberwesel, Weißenthurm und Bingen angegeben werden.

Tabelle 2-1: Entwicklung des Güterverkehrs nach Verkehrsträgern.

	2010		2030		Veränderung 2030 zu 2010	
	Mio. t / Mio. tkm	Modal-Split in %	Mio. t / Mio. tkm	Modal-Split in %	insg. in %	in % p. a.
Gesamtverkehr nach Mio. Tonnen						
Schiene	358,9	9,7	443,7	10,2	23,6 %	1,1 %
Straße	3.116,1	84,1	3.639,1	83,5	16,8 %	0,8 %
Binnenschiff	229,6	6,2	275,6	6,3	20,0 %	0,9 %
Summe¹³	3.704,7	100,0	4.358,4	100,0	17,6 %	0,8 %
Gesamtverkehr nach Mrd. Tonnen-km (Transportleistung)						
Schiene	107,6	17,7	153,7	18,4	42,9 %	1,8 %
Straße	437,3	72,0	607,4	72,5	38,9 %	1,7 %
Binnenschiff	62,3	10,3	76,5	9,1	22,8 %	1,0 %
Summe	607,1	100,0	837,6	100,0	38,0 %	1,6 %

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH auf Basis von BVU und ITP (2015)

Tabelle 2-2: Entwicklung des motorisierten Personenverkehrs nach Verkehrszweigen.

	Absolute Werte		Modal-Split (%)		Veränderung 2030 zu 2010	
	2010	2030	2010	2030	insg. in %	in % p.a.
Verkehrsaufkommen (Mio. Personen)						
Motor. Individualverkehr	56.503	59.080	82,7	83,3	4,6	0,2
Eisenbahnverkehr	2.435	2.603	3,6	3,7	6,9	0,3
ÖSPV	9.280	9.068	13,6	12,8	-2,3	-0,1
Luftverkehr	132	209	0,2	0,3	58,3	2,3
Summe	68.350	70.960	100	100,0	3,8	0,2
Verkehrsleistung (Mrd. Pkm)						
Motor. Individualverkehr	902,4	991,8	80,8	78,6	9,9	0,5
Eisenbahnverkehr	84,0	100,1	7,5	7,9	19,2	0,8
ÖSPV	78,1	82,8	7,0	6,6	6,0	0,3
Luftverkehr	52,8	87,0	4,7	6,9	64,8	2,5
Summe	1.117,3	1.261,7	100,0	100,0	12,9	0,6

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH auf Basis von BVU und ITP (2015)

Das Personenverkehrsaufkommen wurde in der gleichen regionalen Differenzierung wie der Güterverkehr aufbereitet. Innerhalb Deutschlands auf Kreisbasis (in der Summe von Hin- und Rückrichtung) und im Ausland auf größerer NUTS-Basis. Im Personenverkehr erfolgt die kleinräumige Verteilung des Personenverkehrs im TRIMODE-Modell auf die Ebene der Stadtteile in den kreisfreien Städten und auf Gemeindeebene in den Landkreisen. Darüber hinaus steht das Personenverkehrsaufkommen nach sechs Fahrtzwecken zur Verfügung. Hierbei dominieren im motorisierten Personenverkehr Einkaufs- und private Freizeit-

¹³ Summen in dieser sowie in allen folgenden Tabellen können Rundungsfehler aufweisen.

fahrten mit insgesamt fast 70 %. Es folgen Berufsfahrten mit rd. 18 % und Geschäfts- und Ausbildungsfahrten mit rd. 9 % bzw. 6 % (siehe Tabelle 2-3). Für die Binnenschifffahrt enthalten die Matrizen der Verkehrsverflechtungsprognose des BMVI keine Personenverkehre, wie sie im Bereich des Mittelrheins in der Freizeit- und Ausflugschifffahrt in großem Maße stattfinden. Daher bleiben diese Verkehre in dieser Studie unberücksichtigt.

Tabelle 2-3: Entwicklung des motorisierten Personenverkehrs nach Fahrtzwecken.

	Absolute Werte		Anteile (%)		Veränderung 2030 zu 2010	
	2010	2030	2010	2030	insg. in %	in % p.a.
Verkehrsaufkommen (Mio. Personen)						
Beruf	12.761	12.569	18,7	17,7	-1,5	-0,1
Ausbildung	4.376	3.887	6,4	5,5	-11,2	-0,6
Einkauf	20.496	21.398	30,0	30,2	4,4	0,2
Geschäft	5.735	6.113	8,4	8,6	6,6	0,3
Urlaub	200	240	0,3	0,3	20,2	0,9
Privat	24.706	26.603	36,2	37,6	7,7	0,4
Insgesamt	68.275	70.810	100,0	100,0	3,7	0,2

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH auf Basis von BVU und ITP (2015)

2.3.2 Verkehrsnetze und Umlegung der Verkehre

Aus der Verkehrsverflechtungsprognose des BMVI liegen Verkehrsverflechtungen in den Jahren vor 2010 und 2030 als Quelle-Ziel-Matrizen vor (innerdeutsche und Transitverkehre). Um den Teil der Verkehrsströme zu identifizieren, die durch die Einschränkungen am Mittelrhein betroffen sind, wird das Verkehrsaufkommen auf das Verkehrsnetz heruntergebrochen („umgelegt“). Dazu werden die in der BVWP verwendeten Infrastrukturnetze der Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße für das Basisjahr 2010 sowie für das Prognosejahr 2030 verwendet.

2.3.2.1 Binnenschiffsverkehr

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eingesetzten Binnenschifffahrtsnetze für die Jahre 2010 und 2030 umfassen rd. 1.000 Kanten und Knoten im In- und Ausland, wobei zwischen Verbindungs- und Hafenknoten zu differenzieren ist. Im Bereich des Mittelrheinabschnittes gibt es zwischen den beiden betrachteten Netzmodellen keine Veränderungen. An den entsprechenden Netzkanten stehen Informationen über die Länge des Abschnitts, die Art des Abschnitts (Kanal, Fluss, stauregulierter Fluss), die richtungsspezifische Geschwindigkeit, die verfügbare Abladetiefe, die Anzahl der zu befahrenden Schleusen sowie die maximalen Schiffslängen und -breiten zur Verfügung.

Die Umlegungen im Binnenschifffahrtsnetz erfolgen kapazitätsunabhängig über die Wahl der transportkostengünstigsten Verbindung zwischen einer Quelle und dem Ziel, wobei hierfür die auf der Relation maximal mögliche Schiffseinheit angesetzt wird¹⁴. Die genutzten Kostensätze für die einzelnen Binnenschiffe basieren auf der Verlagerungsstudie für den Güterverkehr der TRIMODE Transport Solutions GmbH (BVU et al. 2016), die im Rahmen der Arbeiten zum BVWP erstellt wurde. Kapazitätsrestriktionen können im Bereich der Binnenschifffahrt lediglich aus Schleusenüberlastungen resultieren. Da diese für das gesamte deutsche Netz¹⁵ nicht bekannt sind, können sie bei den Umlegungen der Binnenschifffahrt nicht berücksichtigt werden.

¹⁴ Ein Abgleich mit Verkehrsdaten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung ist nicht erfolgt.

¹⁵ Ausnahme ist hier der Nord-Ostsee-Kanal

Während im Kanalbereich die Abladetiefe durch die vorliegende Wassertiefe gut abgebildet werden kann und i. d. R. auch konstant ist, ist bei Flussabschnitten wie auf dem Rhein kein konstanter Abladefgang gegeben. Dieser wird durch die wechselnden Rheinwasserstände vorgegeben, die an unterschiedlichen Pegeln (Bonn, Andernach, Koblenz, Kaub und Mainz) erfasst werden. Da die Abfahrt des Schiffes bzw. der Zeitpunkt des Transportes nicht bekannt sind, wird aus Vereinfachungsgründen i. d. R. von einem Verkehr ohne Erschwernisse und optimalen Bedingungen bzw. einem konstanten Abladefgang von 2,50 m ausgegangen.

Im Rahmen der BVWP schätzt das BMVI über Modellrechnungen für die einzelnen Wasserstraßenabschnitte der Binnenschifffahrt Flottenstrukturen. Solche Modellrechnungen liegen für mehrere Abschnitte zwischen Bonn und Bingen vor. Stellvertretend für den Mittelrhein ist in Tabelle 2-4 die Flottenstruktur zwischen Bonn und Brohl für die Jahre 2010 und 2030 aufgeführt.

Zu rd. 92 % wird das Verkehrsaufkommen mit Schiffen transportiert, die eine Tragfähigkeit von über 1.000 t haben. Der Anteil von Schiffseinheiten mit einer Tragfähigkeit von über 2.000 t wird bis 2030 von rd. 60 % auf 68 % ansteigen, d. h. der bereits beobachtbare Trend hin zu größeren Schiffskörpern setzt sich nach dieser Annahme fort.

Tabelle 2-4: Binnenschiffs-Flottenstruktur der Jahre 2010 und 2030 zwischen Bonn und Brohl (in %).

Tragfähigkeit in t	2010	2030	Tragfähigkeit in t	2010	2030
Motorschiffe			Schubleichter		
bis 400	0,6 %	0,5 %	bis 1500	1,4 %	1,2 %
401 bis 650	2,5 %	1,5 %	1501 bis 2000	1,4 %	1,2 %
651 bis 900	3,8 %	2,6 %	über 2000	4,5 %	5,2 %
901 bis 1000	1,4 %	1,0 %			
1001 bis 1500	12,5 %	10,2 %			
1501 bis 2000	16,6 %	13,8 %			
2001 bis 2500	16,5 %	15,3 %			
2501 bis 3000	19,9 %	22,1 %			
über 3000	18,9 %	25,4 %			

Quelle: PLANGIS

Schiennetz: Im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung wurde auf Basis des STREDA.X Netzes (Abbildung 2-13) der DB Netz AG aus dem Jahr 2010 ein europaweites makroskopisches Netzmodell erstellt, welches aus rd. 22.100 Knoten und rd. 26.500 Kanten besteht. In Deutschland weist das Netzmodell 9.300 Knoten und rd. 11.000 Kanten auf. In dem Netz sind (zumindest für Deutschland) lagerichtige Strecken enthalten. Das Netz verfügt kantenspezifisch über folgende Attribute:

- Länge
- Streckenstandard
- Traktionsart
- Gleisanzahl
- Streckenklasse
- Streckenneigung
- Maximale Zuglängen
- Maximales Zuggewicht
- Maximale Sollgeschwindigkeit
- Netzbetreiber
- Lichtraumprofil
- Geometrie
- Verkehrsart
- Trassenpreis
- Maximale Blockabschnittslängen und
- Länge der Überholungsabstände

Darüber hinaus stehen für die einzelnen Kanten im deutschen Netz Attribute zur Verfügung, über die die Leistungsfähigkeit der Strecke berechnet werden kann (z. B. Stellwerkstechnik, installiertes Zugsicherungssystem, Streckengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Bedienungsprogramme, maximaler Überholungsgleisabstand sowie maximale Blockabschnittslänge). Die Ermittlung dieser Werte erfolgte nicht kantenspezifisch, sondern für größere Abschnitte und wird anschließend auf die Kanten übertragen. Diese Vorgehensweise ermöglicht die abschnittsweise Berechnung von Leistungsfähigkeiten, die jedoch nur für das deutsche Netz vorliegen. Für die Umlegung von Containerverkehren ist zusätzlich das KV-Profil der Strecken aufgenommen worden.

Um Fahrwege richtig abzubilden, sind in das Netz über 59.000 Widerstände¹⁶ aufgenommen worden, davon 27.500 in Deutschland. Hierüber wird sichergestellt, dass Fahrtrichtungs- und Streckenwechsel während einer Fahrt abgebildet werden können. Das Netzmodell ist für das Basisjahr 2010 sowie für das Prognosejahr 2030 vorhanden. Die deutschlandweite Netzsituation in 2010 ist Abbildung 2-13 zu entnehmen. Das 2030-Netz der Prognose (ohne Abbildung) ist im Bereich des Mittelrheingebiets ähnlich, da dort keine weiteren Ausbaumaßnahmen geplant und vorgesehen sind.

Die im Rahmen der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 aufgebauten Netzmodelle sind makroskopische Netzmodelle, welche keine Spurpläne aufweisen und teilweise Betriebsteile in größeren Knoten nicht enthalten. Für die Ermittlung der Streckenauslastung wird bei der Schiene der Begriff der Leistungsfähigkeit einer Strecke herangezogen. Dieser stellt die maximal verkäufliche Zahl von Fahrplantrassen dar. Die Leistungsfähigkeit einer Strecke ist von mehreren Faktoren abhängig. Diese sind:

- die Gleisanzahl einer Strecke,
- der Zugmix auf einer Strecke,
- das Fahrplanprogramm der Fernverkehrs- und Nahverkehrszüge im Personenverkehr, sowie
- streckenspezifische Faktoren, wie Sicherungstechnik, Blocklänge, Abstand der Überholungsstellen, Vorhandensein von Überholgleisen auf der Strecke, Kurvigkeit, Bahnübergänge in verkehrsdichten Räumen etc.

Die optimale Leistungsfähigkeit (Kapazität) oder Nennleistung bezeichnet die Anzahl der Züge die einer Auslastung von 100 % entspricht. Sie ist in der eisenbahnwissenschaftlichen Literatur (Schwanhäuber 1974) für Betrachtungen von Streckenbelastungen maßgeblich und ist dann gegeben, wenn unter Berücksichtigung des Betriebs(fahrplan)programms eine sogenannte wirtschaftlich optimale Betriebsqualität erreicht wird. Eine wirtschaftlich optimale Betriebsqualität liegt vor, wenn eine Umsetzung der Züge nicht durch erhöhte Wartezeiten aufgrund gegenseitiger Behinderung dieser Züge auf derselben Strecke gefährdet ist. Strecken, die eine Auslastung von unter 85 % der Nennleistung aufweisen, verfügen noch über ausreichende Kapazitäten (Premium-Betriebsqualität). Strecken, die Leistungsfähigkeiten zwischen 85 % und 110 % der ermittelten Nennleistung aufweisen, gelten als voll ausgelastet. In diesem Bereich geht man von einer wirtschaftlich optimalen Betriebsqualität aus. Eine Streckenüberlastung liegt nach dieser Definition erst ab einer Streckenauslastung von 110 % und höher vor. Ab dieser Überlastungsschwelle entstehen Verspätungen, die keinen wirtschaftlich optimalen Betriebsablauf mehr garantieren¹⁷ (vgl. Abbildung 2-14).

Dadurch, dass das Netz auf makroskopischer Basis (nicht spurplangetreu) aufgebaut wurde, können mikroskopische Knotenkonflikte durch Einfädelungen von Verkehren auf Gleis- und Weichenebene, insbesondere bei erheblicher Zunahme des Verkehrsaufkommens, nicht exakt abgebildet werden. Dies ist bei der späteren Interpretation der Ergebnisse, insbesondere bei Fahrten durch Knoten (Bahnhöfe, Anlagen des Personen- und Güterverkehrs), zu berücksichtigen.

¹⁶ Widerstände sind Zusatzzeiten, die bei Fahrtrichtungs- und Streckenwechseln anfallen.

¹⁷ Streckenauslastungen zwischen 110 % und 115 % gelten als risikobehaftete Strecken. Hierbei handelt es sich um einen Übergangsbereich zwischen der optimalen Auslastung und einer Überlastung.

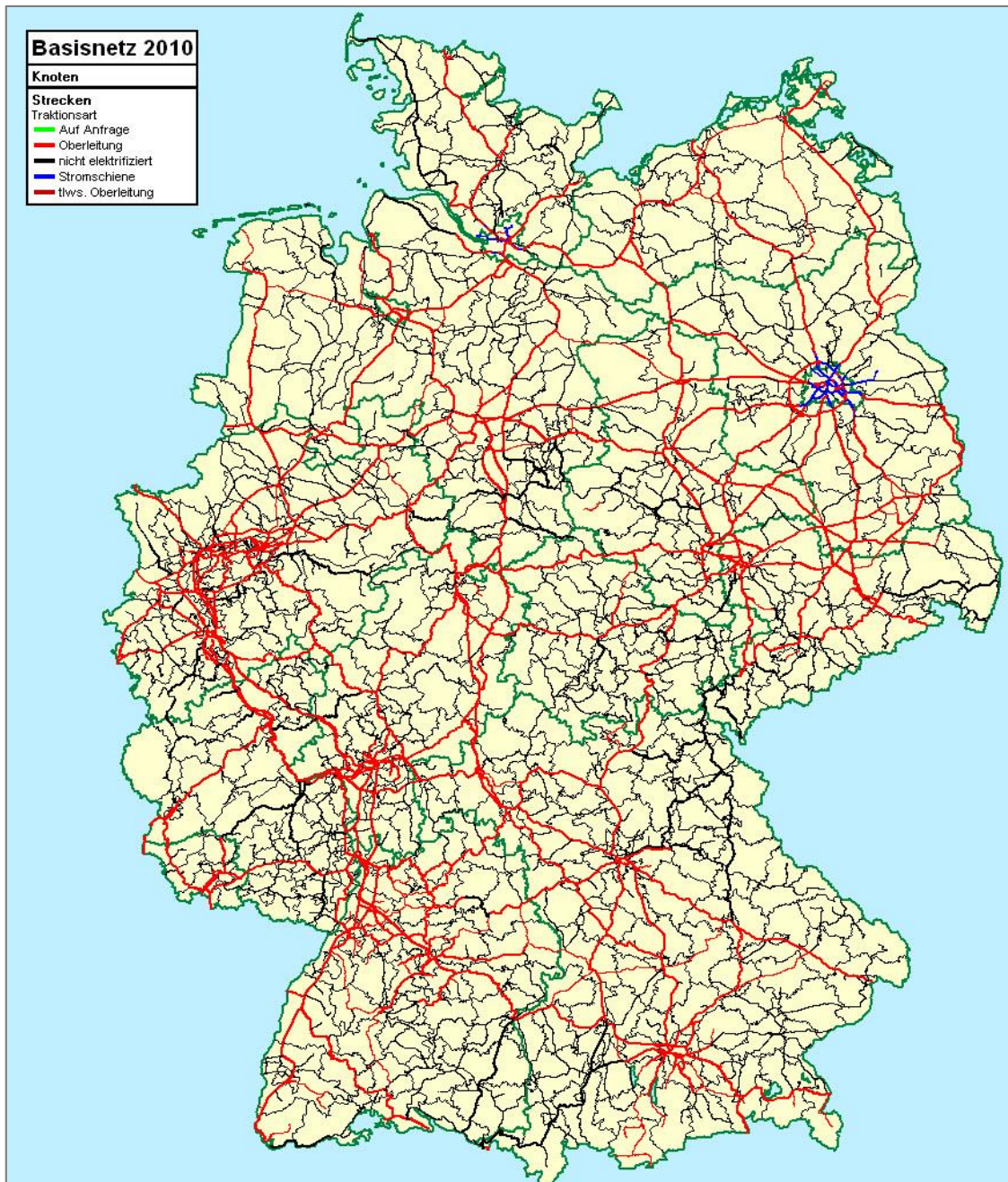


Abbildung 2-13: Schieneninfrastruktur Deutschland in 2010 nach Traktionsart¹⁸, wobei die Strichdicke die streckenspezifische Schienenverkehrsbelastung angibt Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH basierend auf den Daten des STREDA.X Netzes der DB Netz AG.

¹⁸ Die Strichdicke in der Abbildung gibt die streckenspezifische Schienenverkehrsbelastung an.

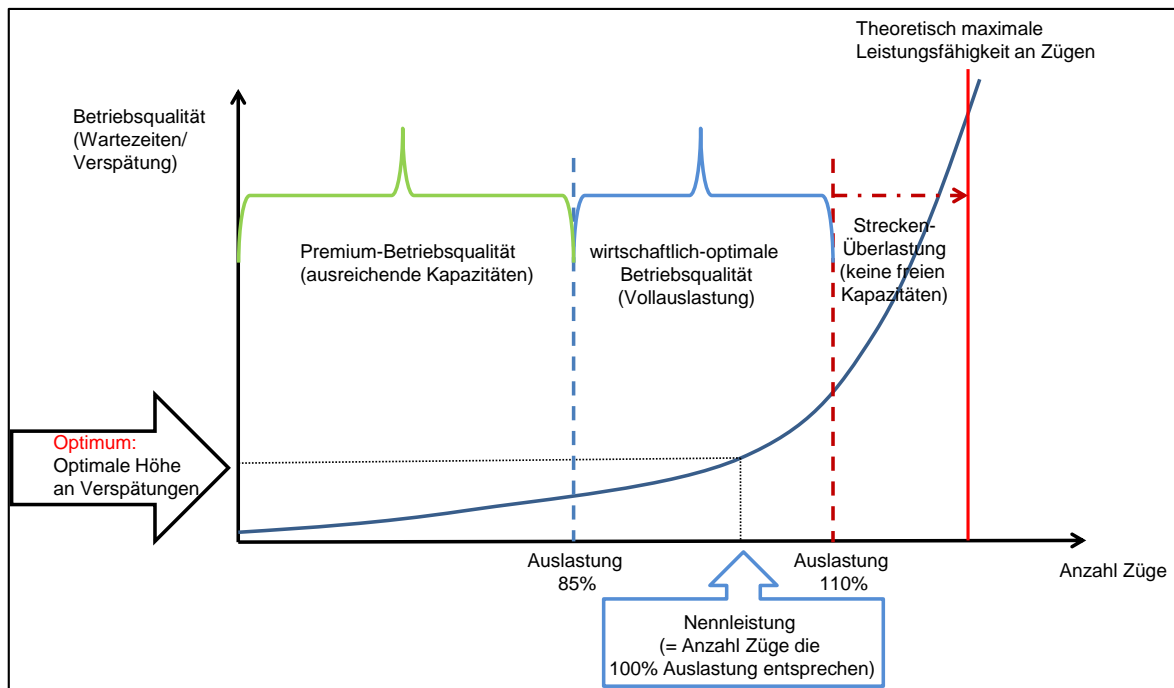


Abbildung 2-14: Zusammenhang zwischen Betriebsqualität (Wartezeiten und Verspätungen) und der Auslastung einer Schienenstrecke, Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Schienerpersonenverkehr: Im Personenverkehr ist zwischen dem Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) und dem Schienenpersonennahverkehr (SPNV) zu differenzieren. Die Höhe des Bedienungsangebotes kann den Arbeiten aus der BVWP entnommen werden. Der überwiegende Teil des Fernverkehrs zwischen dem Rhein-Main- und dem Rhein-Ruhr-Gebiet wird über die Schnellfahrstrecke zwischen Siegburg und Frankfurt-Flughafen geführt. Der SPFV fährt überwiegend auf der linken Rheinstrecke zwischen Bonn, Koblenz und Mainz. Hierbei handelt es sich um rd. 33 Zugpaare pro Tag zwischen Bonn und Koblenz bzw. um 26 Zugpaare pro Tag zwischen Mainz und Koblenz. Die Züge laufen ab Mainz weiter in Richtung Süddeutschland und ab Bonn weiter in Richtung Rhein-Ruhr und Norddeutschland. Rechtsrheinisch verkehren, mit Ausnahme von Nachtzügen, keine Züge des SPFV.

Der in 2010 über den Mittelrhein führende SPNV umfasst linksrheinisch pro Tag 37 Zugpaare zwischen Bonn und Koblenz und rechtsrheinisch 34 Zugpaare. Im südlichen Abschnitt zwischen Koblenz und Bingen verkehren 26 Zugpaare und rechtsrheinisch sind es weitere 28 Zugpaare zwischen Koblenz und Wiesbaden.

Leider liegen aus den Arbeiten zur BVWP keine Umlegungszahlen der Personenfahrten zu den einzelnen Bedienungsangeboten vor. Aus bei der TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH verfügbaren Belastungszahlen kann linksrheinisch im SPNV zwischen Koblenz und Andernach ein jährliches Personenaufkommen von rd. 1,2 Mio. und zwischen Koblenz und Bingen von rd. 0,5 Mio. abgeleitet werden. Rechtsrheinisch werden zwischen Linz und Neuwied zwischen 0,5 und 0,6 Mio. Personenaufkommen realisiert und in südlicher Richtung (Höhe St. Goarshausen) rd. 0,1 Mio. Personenaufkommen. Die durchschnittliche Tagesauslastung der linksrheinisch geführten Züge liegt zwischen 20 % und 25 %, die der rechtsrheinisch geführten Züge weitgehend um bzw. sogar unter 10 %. Natürlich liegt die Belastung um die größeren Orte Koblenz und Bonn höher. Im Fernverkehr zwischen Bonn und Koblenz werden rd. 5,3 Mio. Personenaufkommen realisiert und zwischen Koblenz und Mainz ca. 4,4 Mio. Personenaufkommen. Die Auslastung der im Fernverkehr eingesetzten Züge lag in 2010 mit rd. 45 % deutlich höher als im SPNV.

Im Prognosejahr 2030 wird gegenüber 2010 eine nennenswerte Erweiterung des Bedienungsangebotes im SPNV erwartet. Rechtsrheinisch werden 18 weitere Zugpaare pro Tag, im Wesentlichen zwischen Koblenz und Neuwied erwartet. Im südlichen Abschnitt zwischen Koblenz bis Wiesbaden wird das Angebot um ein Zugpaar pro Tag gesenkt. Linksrheinisch erhöht sich das Bedienungsangebot zwischen Bonn und Koblenz

um 2 Zugpaare pro Tag, die jedoch teilweise bis Bingen und Mainz durchgeführt werden, sodass sich das Bedienungsangebot zwischen Koblenz und Bingen um 13 Zugpaare pro Tag erhöht. Auch im Fernverkehr wird eine leichte Erhöhung des Bedienungsangebotes um zwei Zugpaare pro Tag erwartet.

Die Erhöhung der Bedienung per Schiene führt zu einer z. T. wesentlichen Erhöhung des Personenverkehrs auf der Schiene. Insgesamt steigt das SPNV-Verkehrsaufkommen linksrheinisch zwischen Bonn und Koblenz auf rd. 4,0 Mio. Personenfahrten und südlich auf rd. 1,5 Mio. Personenfahrten; rechtsrheinisch liegen die entsprechenden Werte bei rd. 2,3 Mio. Fahrten bzw. 0,3 Mio. Personenfahrten. Das Fernverkehrsaufkommen liegt bei 6,8 Mio. Personenfahrten zwischen Bonn und Koblenz bzw. 6,6 Mio. Personenfahrten zwischen Koblenz und Mainz.

Schiengüterverkehr: Im Schienengüterverkehr werden mit Hilfe eines detaillierten und komplexen Wagen- und Zugbildungsmodells die Mengen der Verkehrsverflechtungsprognose in tägliche Zugzahlen mit unterschiedlichen Frequenzen, Zuglängen und -gewichten umgewandelt. Hierbei werden auch Zugbildungs-, Rangier- und Leerfahrten berücksichtigt. Anschließend erfolgt die Umlegung des gesamten Schienenverkehrs auf die vorliegenden Infrastrukturnetze für einen durchschnittlichen Werktag unter Berücksichtigung der streckenspezifischen Nennleistungen. Diese werden im Rahmen des Umlegungsalgorithmus in Abhängigkeit der streckenspezifischen Eigenschaften (Blockabstände, Geschwindigkeitsrestriktionen, Länge bis zum nächsten Überholungsbahnhof), des Mischungsverhältnisses zwischen den Zügen des Personenfernverkehrs, des Personennahverkehrs und Güterverkehrs, sowie den von den Zügen unterschiedlich realisierten Geschwindigkeiten mit Hilfe eines Warteschlangenansatzes strecken- und kantenspezifisch berechnet.

Der von der TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH umgesetzte Umlegungsalgorithmus berücksichtigt Umroutungen von Güterverkehrszügen auf andere Strecken, wenn in Abhängigkeit der realisierten Belastung aufgrund des Erreichens von Auslastungsgrenzen höhere außerplanmäßige Wartezeiten (bedingt durch Stauungen) auftreten. Die für das Jahr 2010 im Rahmen der Verkehrsverflechtungsprognose erfolgte Umlegung (Abbildung 2-15) wurde streckenspezifisch mit internen Zahlen der DB Netz AG kalibriert, sodass sie eine weitgehend reale Belastungssituation abbildet. Um die gesamte streckenseitige Belastungssituation darzustellen, ist in Abbildung 2-15 auch der tägliche Personenverkehr aufgeführt. Die erste Zahl (in schwarz) gibt die Anzahl der Personenverkehrs- und die zweite Zahl (in grau) die Anzahl der Güterverkehrszüge wieder. Es wird deutlich, dass linksrheinisch rd. zwei Drittel des Verkehrsaufkommens aus Personenverkehrszügen bestehen und rechtsrheinisch zwischen Koblenz und Bonn deutlich der Güterverkehr dominiert. Insgesamt verkehren in 2010 jeden Tag rd. 200 Güterverkehrszüge zwischen Bingen und Koblenz bzw. fast 240 Züge im nördlichen Bereich durch das Mittelrheintal.

Auch wenn generell im Mittelrheintal noch freie Kapazitäten vorliegen, ist der Streckenabschnitt zwischen Bonn und Mehlem bereits in 2010 volla ausgelastet und erschwert die Überführung weiterer Güterverkehrszüge auf die linksrheinische Strecke. Weitere Engpässe im deutschlandweiten Netz des Jahres 2010, wie z. B. an der Rheintalbahn, im Raum Rhein-Main/Rhein-Neckar sowie in Norddeutschland können größere Umroutungen von Verkehren trotz freier Kapazitäten im Mittelrheintal erschweren.

Die Umlegungsrechnungen für das Prognosejahr 2030¹⁹ zeigen, dass zukünftig auch im Mittelrheintal die Streckenauslastung für den Schienengüterverkehr zunimmt (Abbildung 2-16). Die Zahl der Güterzüge im nördlichen Bereich des Mittelrheintals erhöht sich auf rd. 330 und im südlichen auf 285. Dieser Anstieg führt zu einer Vollaustattung der Schienenstrecken im nördlichen Bereich auf beiden Seiten des Rheintals und zu einer Vollaustattung im linksrheinischen Bereich zwischen Bingen und Mainz, sodass die Nutzung der Strecken für weitere Verkehre erheblich eingeschränkt ist.

¹⁹ Das im Rahmen der Verkehrsverflechtungsprognose aufgestellte Modell der Wagen- und Zugbildung und Umlegung ist in den nachfolgenden Arbeiten zur BVWP in wesentlichen Bereichen (Containerverkehre, Lichtraumprofile, Netzinfrastruktur, Überholungsregeln im Personenverkehr etc.) überarbeitet und weiterentwickelt worden. Diese Veränderungen wurden im Rahmen der hier umgesetzten Arbeiten sowohl aus Aufwandsgründen als auch aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Arbeiten zur Verkehrsverflechtungsprognose nicht berücksichtigt.

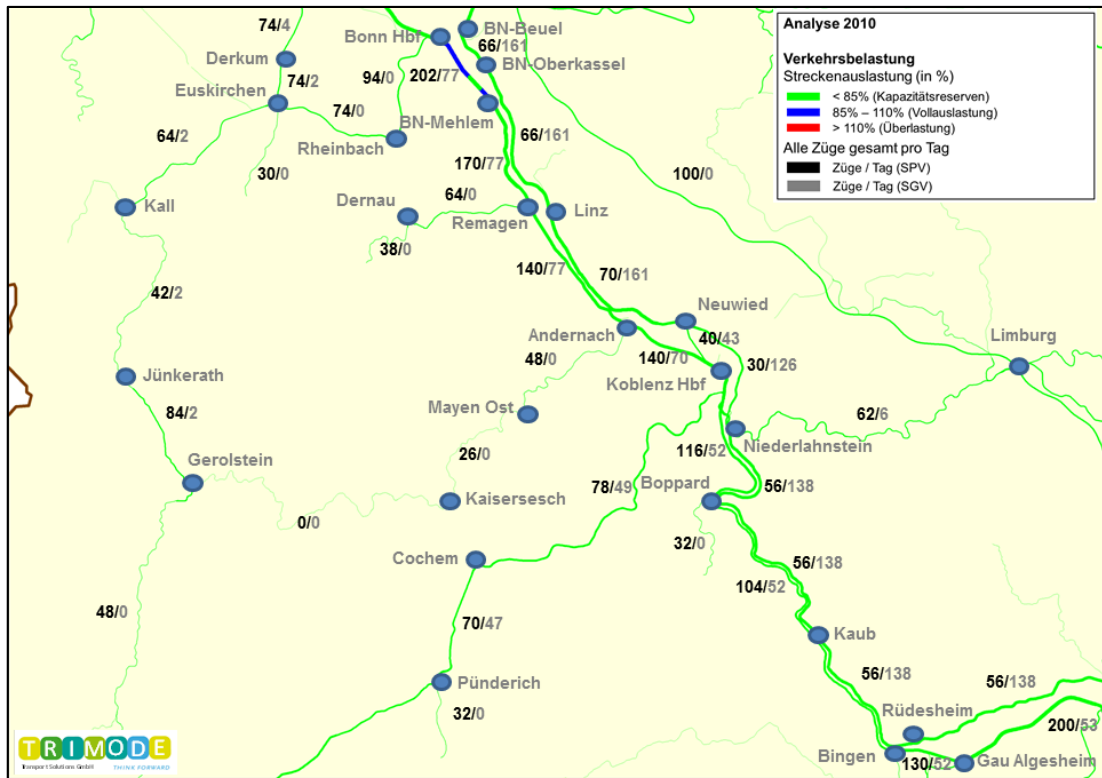


Abbildung 2-15: Umlegung des Schienengüterverkehrs 2010 (Anzahl SPV-Züge/ Anzahl SGV-Züge pro Tag) (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH auf Basis von BVU und ITP (2015)).

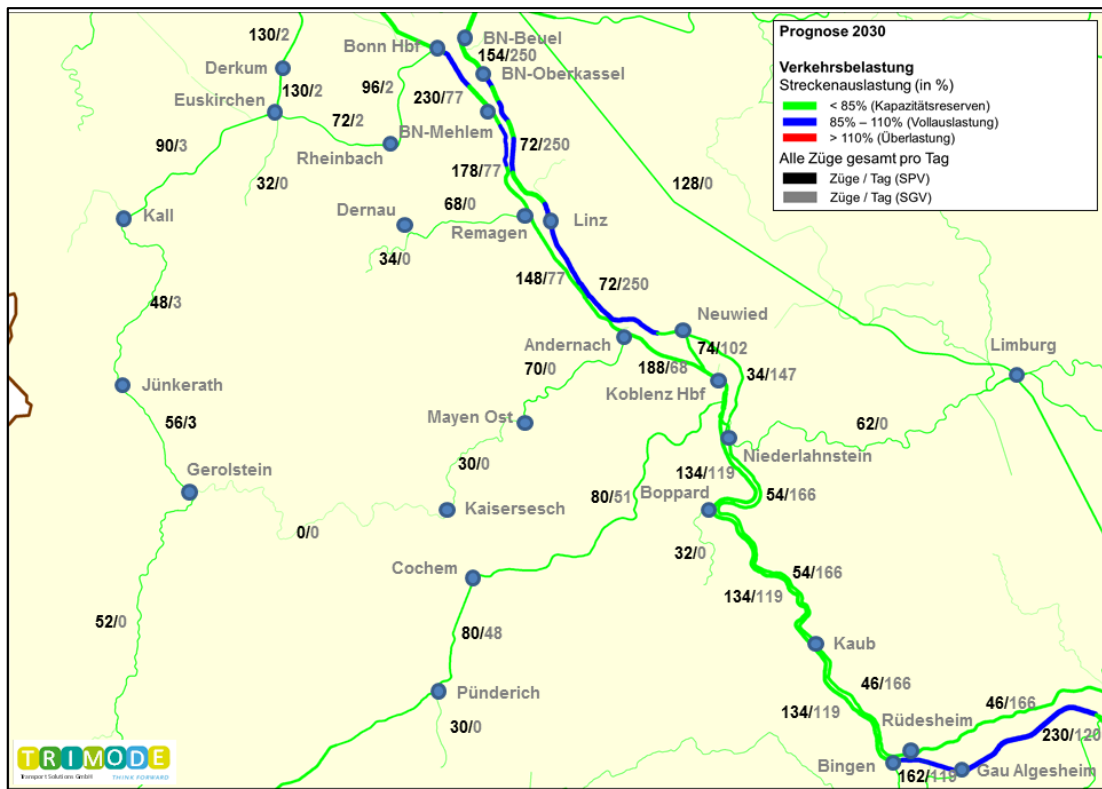


Abbildung 2-16: Umlegung des Schienengüterverkehrs 2030 (Anzahl SPV-Züge/ Anzahl SGV-Züge pro Tag) (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH auf Basis von BVU und ITP (2015)).

2.3.2.2 Straßenverkehr

Während für die Binnenschifffahrt und die Schiene bei der TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH eigene Umlegungen auf die einzelnen Verkehrswege vorliegen, sind ähnliche Aussagen für den gesamten Straßenverkehr (Personen- und Güterverkehr) nicht verfügbar. Um auch Aussagen zu Personenverkehren sowie zu streckenspezifischen Verkehrsbelastungen treffen zu können, ist im Rahmen dieser Studie das Verkehrsaufkommen der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr auf die Infrastrukturnetze der BVWP umgelegt worden. Bei den Umlegungen wurden für das Jahr 2010 die Belastungsdaten an den Zählstellen im Fernstraßenbereich berücksichtigt²⁰; für das Jahr 2030 lagen vereinzelt kantenspezifische Umlegungszahlen aus den Verkehrsumlegungen der Ingenieurgruppe IVV im Rahmen der Verkehrsverflechtungsprognose vor. Aufgrund teilweise unterschiedlicher Vorgehensweisen können Unterschiede zu bestehenden Verkehrsumlegungen der BVWP auftreten.

Straßennetz: Grundlage der Arbeiten ist das aktuelle Netzmodell für die Bundesfernstraßen (NEMOBFStr). Dieses Modell enthält alle Autobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen sowie wichtige Kreis- und Gemeindestraßen (siehe Abbildung 2-17). Das NEMOBFStr besteht aus rd. 700.000 Richtungsstrecken im In- und Ausland. Der Erfassungsgrad der überregionalen Fernstraßen ist im NEMOBFStr sehr gut (Tabelle 2-5) und entspricht aufgrund der kontinuierlichen Pflege weitgehend den aktuellen Gegebenheiten²¹. Auf Gemeindeebene ist der Erfassungsgrad des NEMOBFStr jedoch mit knapp 7 % sehr niedrig, was zu deutlichen Einschränkungen bei der Abbildung des örtlichen Nahverkehrs mit Entfernungen zwischen 3 und 8 km führt. Dieser Verkehr macht rd. 25 % des in der Verkehrsverflechtungsmatrix enthaltenen motorisierten Individualverkehrs aus und ist somit in seiner Wirkung nicht zu vernachlässigen.

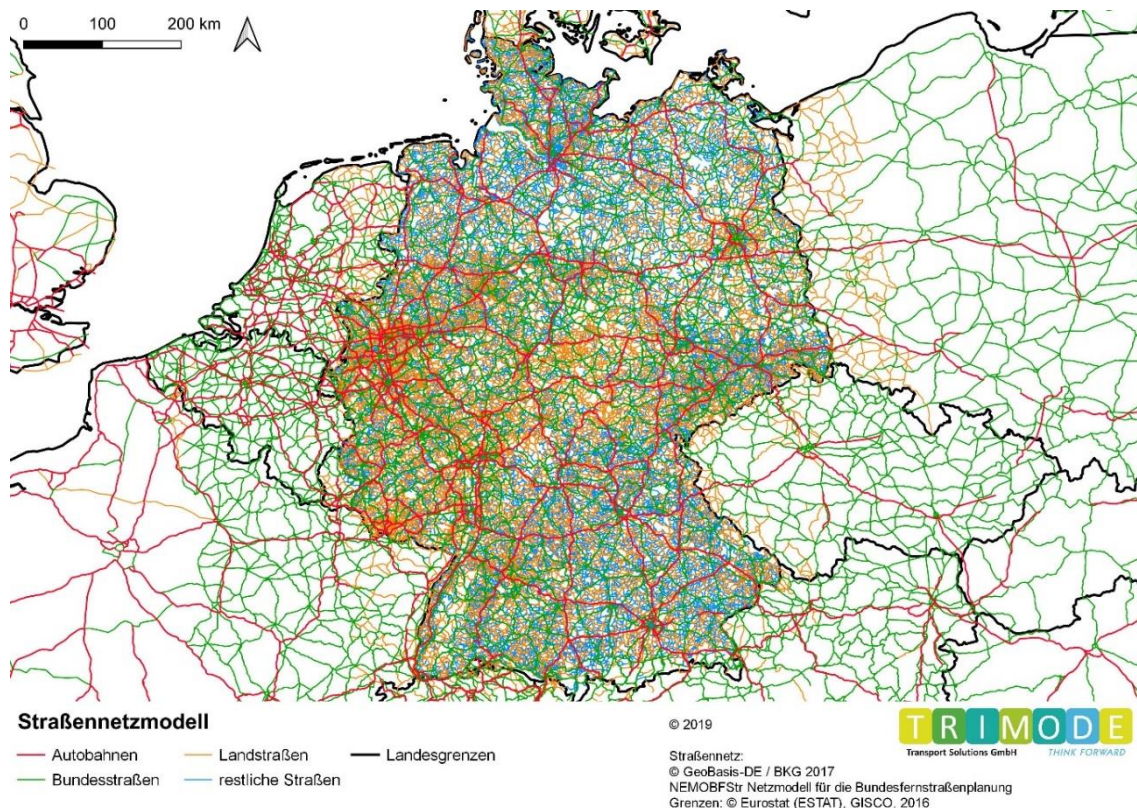


Abbildung 2-17: Kartographische Darstellung des Straßennetzmodells (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

²⁰ Diese wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen für das Jahr 2010 zur Verfügung gestellt.

²¹ Kleine Abweichungen im Fernstraßenbereich sind auf die unterschiedliche Behandlung und Erfassung von Fertigstellungen und Freigaben von Straßen für den Straßenverkehr zurückzuführen.

Die Strecken des Netzmodells sind hinsichtlich der baulichen und verkehrlichen Gegebenheiten attribuiert, wobei folgende Informationen je Abschnitt vorliegen:

- Richtungstrennung, Standspuren
- Streifigkeit
- Qualitätskennziffer
- Tempolimit
- Überholverbote
- Kurvigkeit
- Steigung
- Tunnellage
- Stadtmodellbaustein

Tabelle 2-5: Vergleich der Straßenlängen im NEMOBFStr mit dem öffentlichen Straßennetz (Längenangaben in 1.000 km).

	NEMOBFStr 2010	Bestand 2010
Bundesautobahnen	13,1	12,8
Bundesstraßen	38,3	39,7
Landesstraßen	92,1	86,6
Kreisstraßen	88,2	91,7
Gemeindestraßen	29,6	413,0

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH, BMVI (2015a)

Von entscheidender Bedeutung für die Simulation der Verkehrsabläufe im Straßenverkehr sind die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsmengen und den Fahrgeschwindigkeiten, die mit den sog. q-v-Funktionen abgebildet werden und auf der Grundlage empirischer Messungen an Straßenquerschnitten entwickelt wurden. Die im Rahmen dieser Untersuchung genutzten q-v-Funktionen entstammen aus den Vorarbeiten zur BVWP 2030. Die Zuordnung der q-v-Funktionen zu den Strecken des Netzmodells erfolgt über die im Netzmodell enthaltene Typologie der Strecken.

Feinverteilung des Lkw-Verkehrs: Der Lkw-Verkehr steht aus der Verflechtungsprognose in Deutschland lediglich auf Kreisbasis und im Ausland in der größeren NUTS-Zonierung zur Verfügung (insg. 565 Zonen im In- und Ausland). Für eine Umlegung im Straßennetz ist diese Information viel zu ungenau. Deswegen ist der Lkw-Verkehr in Deutschland zunächst auf die Kreis- auf Gemeindeebene (über 11.000 Verkehrszellen) umgelegt worden. Das hierfür verwendete Verfahren wurde von der TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH im FE-Projekt 21.0056/2013 der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) entwickelt (Lindner et al. 2020). Innerhalb dieses Vorhabens wurde auch der kleinräumige Wirtschaftsverkehr deutschlandweit für die Jahre 2010 und 2030 abgeschätzt²².

Feinverteilung des Pkw-Verkehrs: Wie für den Güterverkehr wurde auch für den Personenverkehr eine Feinverteilung auf Gemeindebasis vorgenommen. In größeren Städten mit über 80.000 Einwohnern wurde das Verkehrsaufkommen auf Stadtteile und somit insgesamt auf 14.100 Verkehrszellen aufgegliedert. Hierfür wurden soweit möglich folgende Quellen verwendet:

- Statistische Daten des Statistischen Bundesamtes, der Gemeinden und des Bundesinstituts für Bau, Stadt- und Raumforschung (BBSR) sowie statistische Berichte der großen Städte zur Bevölkerungsstruktur und zur sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung
- Berechnungen zur sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung nach Wirtschaftsklassen
- Statistische Daten zum Urlaubs- und Freizeitverkehr
- Statistische Daten zu Theater- und Museumsbesuchen
- GIS-Daten zu Erholungsflächen, Universitäten, Schulen, Museen, Theater, usw.

Die Feinverteilung erfolgt auf Basis der vorliegenden Jahreswerte, die dann auf einen durchschnittlichen Kalendertag normiert werden. In einem weiteren Schritt werden aus den Personenfahrten Pkw-Fahrten erzeugt. Hierzu werden nach Fahrtzweck und Fahrtweite differenzierte Besetzungsgrade genutzt, die im Rahmen der BVWP abgestimmt wurden (Tabelle 2-6).

²² Unter Nutzung des im Rahmen des Projektes BMVBS FE 70.0689/2002 entwickelten Schätzverfahrens.

Tabelle 2-6: In das Verkehrssimulationsmodell eingehende Pkw-Fahrten 2010 und 2030.

	Personenanzahl pro Fahrt		Personenfahrten in Mio. in 2010	Pkw-Fahrten 2010	Personenfahrten in Mio. In 2030	Pkw-Fahrten 2030
	Nahverkehr (bis 50 km)	Fernverkehr				
Berufsfahrt	1,1	1,1	10.230	9.226	9.883	8.913
Ausbildung	1,3	1,7	1.700	1.031	1.533	930
Einkauf	1,8	1,3	17.486	12.963	18.182	13.479
Geschäft	1,1	1,0	5.388	5.253	5.737	5.582
Urlaub	2,3	2,3	98	43	96	42
Privat	2,0	1,6	21.601	12.298	23.549	14.094
Summe			56.503	41.433	58.980	43.039

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Für die Verteilung der Fahrten nach Fahrtzwecken werden Tagesganglinien differenziert nach Hin- und Rückfahrt angesetzt. Die sich aus den Berechnungen ergebende Verteilung der Pkw-Abfahrten im Tagesverlauf zeigt eine starke Verkehrsbelastung in den Morgen- und Nachmittagsstunden.

Umlegung des Pkw- und Lkw-Verkehrs auf das Netzmodell: Die in den vorhergehenden Schritten entwickelten Verkehrsstrommatrizen für den Pkw- und Lkw-Verkehr werden in sechs Schichten bzw. Teilmengen unterteilt. Jede der sechs Schichten besteht aus einer unterschiedlich großen prozentualen Teilmenge aller Quell-Ziel-Beziehungen. Diese einzelnen Teilmengen der Verkehrsnachfrage werden nacheinander auf das Verkehrsnetz umgelegt. Die Verkehre der ersten Teilmenge fahren zunächst im unbelasteten Netz und wählen die optimalen Routen aus, entlang derer der Widerstand (die Reisezeit) am geringsten ist. Nach erfolgter Umlegung der ersten Teilmenge der Verkehrsmatrix erfolgt erneut eine Widerstandsberechnung für alle Verkehrsrouten und der nächste Nachfrageanteil (2te Teilmenge der Verkehrsmatrix) wird auf die Routen mit dem geringsten Widerstand gelegt. Mit jeder umgelegten Teilmenge erhöht sich jedoch die Kapazitätsauslastung einer Strecke und es sinkt die Geschwindigkeit auf dem einzelnen Streckenabschnitt. Bei höher belasteten Routen werden die Fahrzeuge bei Umlegung der nachfolgenden Teilmengen auf die weniger belasteten Alternativrouten verdrängt. In der Umlegung werden gegebene Kapazitätsgrenzen der Bundesautobahnen, der Bundesstraßen und der Landesstraßen mitbetrachtet²³. Die hier berücksichtigten Kapazitätsgrenzen stammen aus den Vorgaben des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS, FGSV (2015)) und berücksichtigen sechs Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (QSV):

- 1) QSV A: Streckenauslastung < 30 %
- 2) QSV B: Streckenauslastung zwischen 30 % und 55 %
- 3) QSV C: Streckenauslastung zwischen 55% und 75 %
- 4) QSV D: Streckenauslastung zwischen 75 % und 90 %
- 5) QSV E: Streckenauslastung zwischen 90 % und 100 %
- 6) QSV F: Streckenauslastung > 100 %

Die hier erfolgte Umlegungsrechnung betrachtet den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) pro Kalendertag (Abbildung 2-18).

²³ Die Nichtberücksichtigung von Gemeindestraßen im NEMOBFStr sowie die konzentrierte Einspeisung innerhalb der Gemeinden an einem bzw. an nur wenigen Anbindungspunkten führt dazu, dass auf den Kreisstraßen hohe Verkehrszahlen und Auslastungen realisiert werden. Das Fehlen der für den kleinräumigen Personenverkehr relevanten Gemeindestraßen und somit potentieller Ausweichrouten kann zu verzerrten Ergebnissen führen.

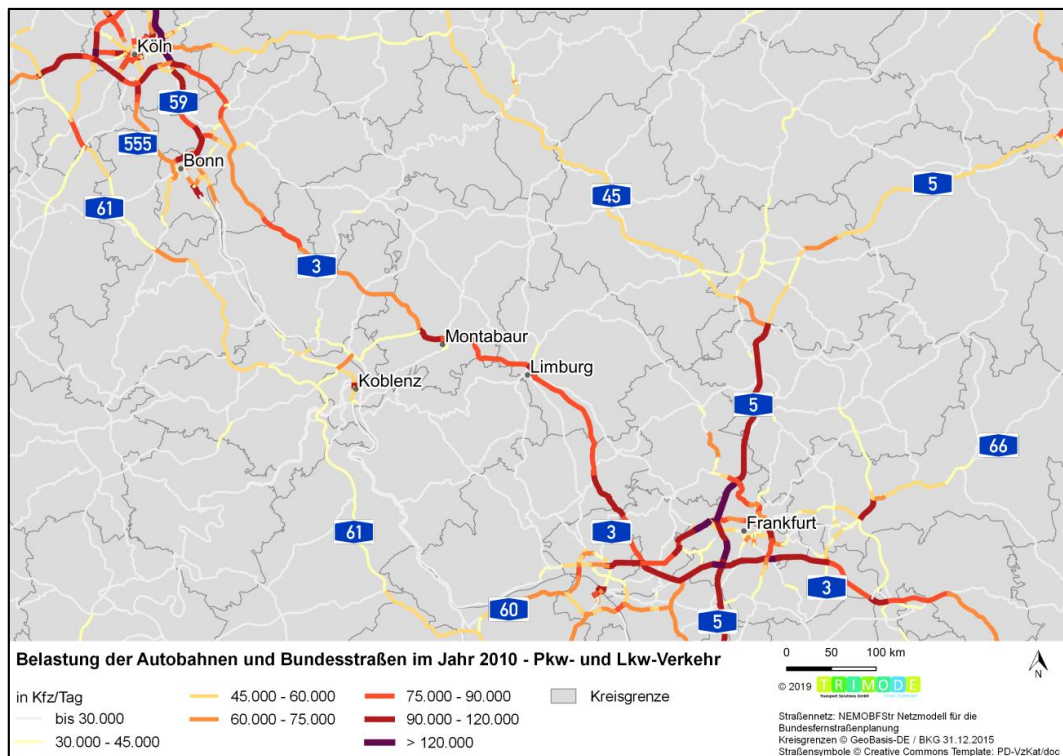


Abbildung 2-18: Verkehrsbelastung (mittels DTV – Durchschnittlicher täglicher Verkehr) auf Autobahnen und Bundesstraßen im Mittelrheingebiet in 2010 (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

Die umgelegten Zahlen werden mit den Zählstellendaten verglichen und kalibriert. Die Zahlen für die Autobahnen und die Bundesstraßen stimmen dabei relativ gut überein. Im Rahmen der Kalibrierung wurden sowohl die regionale Feinverteilung angepasst, als auch potentielle Umrountungen von Verkehren als Ausweichlösung zu der getroffenen Routenentscheidung überprüft. Die Verkehrsqualität der Strecken im Mittelrheingebiet ist im Tagesdurchschnitt gut; auch für den Tageszeitraum zwischen 6:00 und 22:00 Uhr sind keine größeren Engpässe im Mittelrheintal sichtbar. Diese für das Jahr 2010 dargestellte generelle Entwicklung gilt auch für den Zustand des Prognosenetzes 2030.

2.3.3 Güterverkehrsströme über den Mittelrhein

Über die Verkehrsverflechtungsprognose kann das Verkehrsaufkommen aller Kreise, die direkt am Mittelrhein liegen, identifiziert werden. Über die Infrastruktur der Mittelrheinregion zwischen Bonn und Bingen werden jedoch auch Fernverkehre abgewickelt (z. B. zwischen dem Rhein-Main- und dem Rhein-Neckar-Raum sowie den westdeutschen Räumen an Rhein und Ruhr und den Westhäfen). Da diese Verkehre je nach Verkehrsträger über mehrere Alternativrouten abgewickelt werden können, kann das gesamte Verkehrsaufkommenspotential über den Mittelrheinkorridor nur über die netzweiten und verkehrsträgerspezifischen Umlegungen identifiziert werden. Entsprechend dieser Umlegung des Güterverkehrs in den verkehrsträgerspezifischen Netzen der Jahre 2010 und 2030 beträgt das Gesamtfernverkehrsaufkommen für den Mittelrheinkorridor rd. 194 Mio. t. im Jahr 2010 (Tabelle 2-7) und wächst um knapp 38 % auf rd. 267 Mio t. im Jahr 2030 (Tabelle 2-8). Dieses Verkehrsaufkommen setzt sich zusammen aus den Verkehren der Binnenschifffahrt (Rhein zwischen Bonn und Brohl), der Schiene (Strecken zwischen Remagen und Sinzig sowie Erpel und Linz) und der Straße (BAB 3 zwischen Neustadt a. d. Wied und Windhagen sowie BAB 61 zwischen Bad Ahrweiler und Meckenheim). Insbesondere bei der Straße fehlt eine Vielzahl von kleinräumigen lokalen Verkehren, die ausschließlich über die Bundesstraßen im Raum verlaufen, sodass das relevante Güterverkehrsaufkommen über diese nicht vollständig richtig abgebildet werden kann. Für das gesamtwirtschaftlich besonders relevante Fernverkehrsaufkommen und die Bewertung der Bedeutung des Korridors für den Güterverkehr insgesamt, sind die verwendeten Zahlen dennoch eine geeignete Grundlage.

Der bedeutendste Verkehrsträger im Fernverkehrsbereich ist am Mittelrhein das Binnenschiff, gefolgt von der Straße und der Schiene (vgl. Tabelle 2-7). Zwei Drittel des Binnenschiffsaufkommens²⁴ setzen sich nur aus wenigen Gütern zusammen, nämlich aus Mineralölprodukten, chemischen Erzeugnissen, Steinkohle, Getreide und Baustoffen. Der Anteil des Containerverkehrs macht am Aufkommen der Binnenschiffahrt rd. 13 % aus. Bei der Schiene macht der kombinierte Verkehr (KV) einen Anteil von rd. 45 % am insgesamt realisierten Verkehrsaufkommen aus, während der KV-Anteil über alle Verkehrsträger gemittelt nur bei knapp 15 % liegt. Weitere bedeutende Güterarten bei der Schiene sind Stahlerzeugnisse, Steinkohle und Erze sowie chemische Transporte. Diese sind über alle Verkehrsträger betrachtet, nach der KV-Ladung die bedeutendste Gütergruppe im Mittelrheinkorridor, gefolgt von Eisen- und Stahlprodukten, Steinkohle, Getreide und Nahrungsmittel.

Tabelle 2-7: Güterfernverkehrsbelastung im Mittelrhein-Korridor in 2010 nach Gütergruppen und Verkehrsträgern in 1.000 t. Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Gütergruppe	Binnenschiff	Bahn	Straße	Summe	Anteil in %
10 – Land- & forstwirtschaftliche Erzeugnisse	8.087	896	4.301	13.284	6,8 %
21 – Steinkohle	11.054	3.683	43	14.780	7,6 %
22 – Braunkohle	2	357	173	533	0,3 %
23 – Erdöl und Erdgas	261	3	36	301	0,2 %
31 – Erze	2.522	4.355	31	6.907	3,6 %
32 – Düngemittel	467	97	11	575	0,3 %
33 – Steine und Erden, sonstige Bergbauerz.	6.745	519	3.345	10.609	5,5 %
40 – Nahrungs- und Genussmittel	3.784	299	10.773	14.856	7,7 %
50 – Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren	26	1	1.403	1.431	0,7 %
60 – Holz & Kork, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	1.186	728	6.801	8.715	4,5 %
71 – Koks	528	84	217	829	0,4 %
72 – Mineralölerzeugnisse	14.891	1.028	838	16.756	8,6 %
80 – Chemische Erzeugnisse	9.342	2.996	8.589	20.928	10,8 %
90 – Sonstige Mineralerzeugnisse	1.562	377	5.341	7.280	3,8 %
100 – Metalle und Halbzeug	4.068	6.896	7.140	18.105	9,3 %
110 – Maschinen und Geräte, opt. Erz., Uhren	264	75	3.266	3.605	1,9 %
120 – Fahrzeuge	511	787	3.547	4.844	2,5 %
130 – Möbel, Schmuck, Musikinst., Sport, Spiel	73	3	966	1.041	0,5 %
140 – Sekundärrohstoffe, Abfälle	5.107	940	3.341	9.388	4,8 %
150 – Post, Pakete	0	0	1.617	1.617	0,8 %
160 – Geräte und Material für Güterbeförderung	988	663	2.697	4.347	2,2 %
180 – Sammelgut	2	2	1.198	1.202	0,6 %
170 – Umzugsgut, sonst. nicht marktbestimmte Güter	0	298	5.413	5.711	2,9 %
190 – Gutart unbekannt	6.252	17.536	2.503	26.291	13,6 %
Summe	77.721	42.623	73.590	193.934	100,0 %
davon kombinierter Verkehr (KV)	10.321	18.654			
Anteil KV am Verkehr von Schiene & Binnenschiff	13,3 %	43,8 %			
Gesamtverkehrsaufkommen in Deutschland	229.600	358.900	3.116.400	3.704.700	
Anteil Mittelrhein am Gesamtverkehrsaufkommen	34 %	12 %	2 %	5 %	

²⁴ Die TRIMODE-Umlegung der Binnenschiffahrtsverkehre kommt zu 2 % bis 3 % höheren Verkehren im Mittelrheingebiet, als sie in PLANGIS ausgewiesen werden.

Rund ein Drittel des gesamten Binnenschiffsverkehrs und ca. 12 % des deutschlandweit realisierten Schienenverkehrsaufkommens werden über den Mittelrhein befördert. Bei der Straße sind es beim hier gewählten Ausschnitt nur knapp 2 %. Hieran wird die Bedeutung des Mittelrheins insbesondere für die Schiene und das Binnenschiff deutlich. Entsprechend der Verkehrsverflechtungsprognose nimmt das Verkehrsaufkommen der Straße (50 %) und der Schiene (43 %) überdurchschnittlich zu, während der Binnenschiffsverkehr nur mit 23 % wächst (siehe Tabelle 2-8). Das unterdurchschnittliche Wachstum des Binnenschiffes resultiert aus dem Tatbestand, dass massengutaffine Güter im Zeitverlauf weniger stark wachsen bzw., wie bei der Steinkohle, rückläufig sind.

Abbildung 2-19 zeigt, dass die bedeutendsten Verkehre mit Regionen erfolgen, die außerhalb des Mittelrheingebietes liegen. Dies sind insbesondere die Westhäfen, der Stahlstandort um Saarbrücken sowie die Metropolstandorte Duisburg, Köln, Basel, Mannheim-Ludwigshafen sowie Straßburg.

Tabelle 2-8: Güterfernverkehrsbelastung im Mittelrhein-Korridor in 2030 nach Gütergruppen und Verkehrsträgern in 1.000 t.

Gütergruppe	Binnen-schiff	Bahn	Straße	Summe	Anteil in %	Änderung 2030 zu 2010 in %
10 – Land- & forstwirtschaftliche Erzeugnisse	10.935	633	7.898	19.465	7,3 %	46,5 %
21 – Steinkohle	11.228	1.649	1	12.878	4,8 %	-12,9 %
22 – Braunkohle	2	344	148	494	0,2 %	-7,3 %
23 – Erdöl und Erdgas	267	18	55	340	0,1 %	13,1 %
31 – Erze	3.111	5.471	41	8.623	3,2 %	24,8 %
32 – Düngemittel	575	15	16	606	0,2 %	5,3 %
33 – Steine und Erden, sonstige Bergbauerz.	7.435	521	5.235	13.191	4,9 %	24,3 %
40 – Nahrungs- und Genussmittel	4.738	488	16.386	21.612	8,1 %	45,5 %
50 – Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren	33	15	1.915	1.963	0,7 %	37,2 %
60 – Holz & Kork, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	1.632	1.430	9.419	12.481	4,7 %	43,2 %
71 – Koks	559	110	5	675	0,3 %	-18,6 %
72 – Mineralölerzeugnisse	17.170	1.325	709	19.203	7,2 %	14,6 %
80 – Chemische Erzeugnisse	12.351	5.102	12.634	30.087	11,3 %	43,8 %
90 – Sonstige Mineralerzeugnisse	1.972	355	8.057	10.384	3,9 %	42,6 %
100 – Metalle und Halbzeug	5.094	10.030	11.017	26.142	9,8 %	44,4 %
110 – Maschinen und Geräte, opt. Erz., Uhren	379	205	4.837	5.421	2,0 %	50,4 %
120 – Fahrzeuge	477	1.171	5.120	6.768	2,5 %	39,7 %
130 – Möbel, Schmuck, Musikinst., Sport, Spiel	115	18	1.340	1.474	0,6 %	41,5 %
140 – Sekundärrohstoffe, Abfälle	5.560	1.131	5.157	11.848	4,4 %	26,2 %
150 – Post, Pakete	0	0	2.409	2.409	0,9 %	49,0 %
160 – Geräte & Material für Güterbeförderung	2.062	1.453	4.428	7.942	3,0 %	82,7 %
180 – Sammelgut	4	10	1.883	1.897	0,7 %	57,8 %
170 – Umzugsgut, sonst. nicht marktbest. Güter	32	119	8.367	8.518	3,2 %	49,1 %
190 – Gutart unbekannt	9.835	29.479	3.472	42.786	16,0 %	62,7 %
Summe	95.566	61.091	110.550	267.207	100,0 %	37,8 %
Wachstum 2010 – 2030 in %	23 %	43 %	50 %	38 %		

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

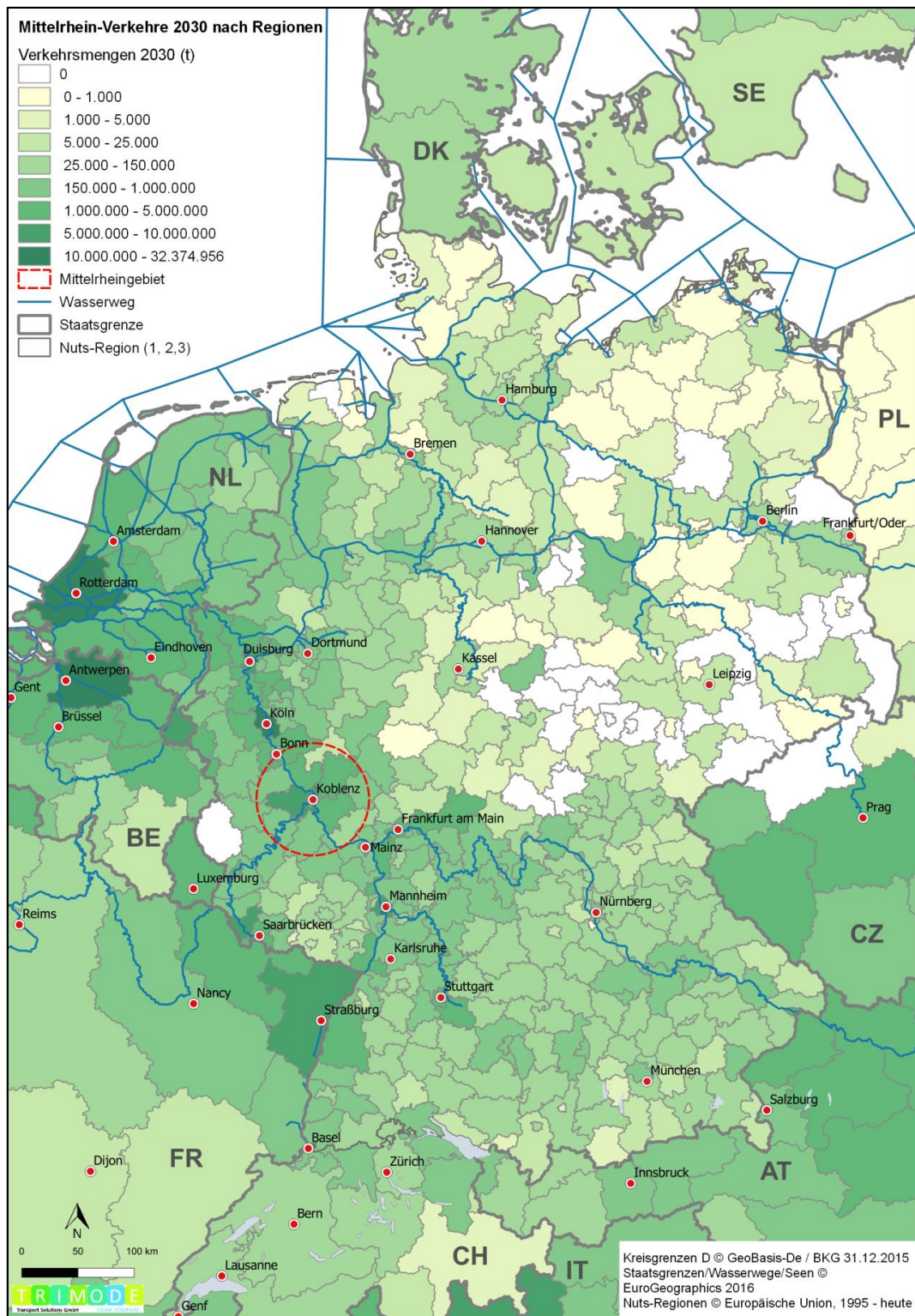


Abbildung 2-19: Regionale Verteilung des Güterverkehrsaufkommen über den Mittelrheinkorridor in 2030 (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

2.4 Grundlagen der Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen

Wie bereits oben geschildert wurde, ergeben sich aus den definierten Stresstestszenarien die verkehrlichen Effekte durch den Vergleich zwischen der Situation mit und ohne Beeinträchtigung. Während im Straßen- und Schienennetz infrastrukturelle Engpässe berücksichtigt werden, ist dies beim Wasserstraßennetz nicht möglich. Da im Binnenschiffahrtsnetz, zumindest am Mittelrhein, keine Alternativwege vorliegen, führen Sperrungen von Netzkanten automatisch zu Verlagerungen auf andere Verkehrsträger. Qualitative Verschlechterungen von Netzkanten werden nur in der Binnenschiffahrt angenommen, wie z. B. bei Niedrigwassersituationen.

2.4.1 Verkehrsverlagerungen im Güterverkehr

Während im Personenverkehr davon ausgegangen wird, dass die Verkehre i. d. R. mit dem gleichen Verkehrsmittel abgewickelt werden (Ausnahme: Schienenersatzverkehr) werden im Güterverkehr auf Basis der Kapazitätsüberlegungen oder Kostenrechnungen Verkehre bestimmt, die auf andere Verkehrsträger wechseln. Die Wahl des neuen Verkehrsträgers erfolgt in einem ersten Schritt über die jeweiligen Modal-Split-Anteile in der entsprechenden Verkehrsrelation. In einem zweiten Schritt wird die Validität der Aussage überprüft. Hierbei wird darauf geachtet, dass trockene Massengüter, wie z. B. Eisenerz oder Kohle, konzentriert auf das Binnenschiff oder die Schiene wechseln (wenn dies auf der jeweiligen Relation möglich ist) oder das Kombinierte Verkehre der Schiene mit einem hohen Anteil von Wechselbehältern, aufgrund der Nicht-Stapelbarkeit der Behälter, nicht zum Binnenschiff wechseln. Darüber hinaus wird bei einem Wechsel zwischen Bahn- und Binnenschiff darauf geachtet, dass Verkehre möglichst über den gleichen Standort bzw. Standortraum (i. d. R. Verladepunkte im gleichen Kreis) abgewickelt werden, um Vor- und Nachläufe per Straße weitestgehend zu vermeiden. Dies gilt, soweit möglich, auch für den Containerverkehr²⁵. Umschlagspunkte von Binnenschiff und Schiene fallen jedoch nicht überall zusammen, insbesondere nicht im konventionellen Verkehr. Teilweise sind die jeweiligen Verladepunkte auch mit unterschiedlichen Unternehmen verbunden. Darüber hinaus sind im Schienennetz nicht alle möglichen Verladepunkte enthalten, da im Einzelnen nicht bekannt ist, welche Verkehre und in welcher Höhe über die einzelnen Verladepunkte gehen. Bei Verlagerungen zwischen Bahn und Binnenschiff wurde daher angenommen, dass sie über alternative, im Standortraum liegende Punkte abgewickelt werden²⁶.

Bei den Verlagerungen wird davon ausgegangen, dass keine Kapazitätsrestriktionen an Personal und sonstigem Material (Fahrzeuge, Umschlagsgeräte etc.) vorliegen. Effekte aus verlagerungsbedingten Kostenerhöhungen (z. B. Verteuerungen von Produkten, die im Wettbewerb nicht umgesetzt werden können) werden nicht berücksichtigt. Die Effekte werden grundsätzlich für einen Verkehrstag abgebildet. Hierbei ist zu beachten, dass für die unterschiedlichen Verkehrsträger unterschiedliche Verkehrstage vorliegen.

2.4.2 Transportkostenrechnungen

Für die in den einzelnen Szenarien verlagerten Verkehre finden Transportkostenrechnungen statt, die sich an der Vorgehensweise des Verkehrsverlagerungsmodells für den BVWP (BVU et al. 2016) orientieren. Auch die genutzten Kostensätze stammen aus dieser Studie. Sie sind in der genannten Studie zum Preisstand des Jahres 2010 ermittelt worden und werden auch für die Kostenberechnungen des Prognosejahres 2030 benutzt. Für die Berechnung der Transportkostensätze der Straße werden in den Umlegungsrechnungen

²⁵ Da die Matrizen der Verkehrsverflechtungsprognose auf Kreisbasis vorliegen, kann nicht an jedem einzelnen Güterverkehrstandort der Bahn, der Binnenschiffahrt und der Straße geprüft werden, ob auch überall die entsprechenden Umschlagsvorrichtungen vorhanden sind.

²⁶ Insbesondere bei Steinbrüchen und Kiesgruben kommt es vor, dass die Standorte nicht gleichzeitig per Bahn und Binnenschiff angebunden sind. Hier könnte in einer Extremwittersituation der Verkehr aus Verlagerungsalternativen nicht umgesetzt werden. Der Empfänger würde dann die Ware aus einem anderen Ort besorgen. Dies kann mangels Informationen und geeigneter Ansätze nicht abgebildet werden. Deswegen wird generell angenommen, dass der Verkehr aus einem anderen Ort im gleichen Kreis mit einem anderen Verkehrsträger abgewickelt werden kann.

Angaben zu Transportzeiten und Transportentfernungen ermittelt und mit den entsprechenden – in der o. g. Studie entwickelten – Ansätzen verrechnet.

Die Transportkostenrechnungen für die Schiene finden für vorgegebene Standardzüge, differenziert nach Ganzzügen für Trocken- und flüssige Güter, sowie für Züge im kombinierten Verkehr statt. Hierbei wird in der Regel von Ganzzügen ausgegangen, die ein Bruttozuggewicht bis zu 1.800 t realisieren können und somit voll ausgelastet sind. Kosten für Einzelwagenverkehre werden in dieser standardisierten Berechnung nicht berücksichtigt. Die berechneten Transportkosten der Schiene enthalten Zugbildungs-, Vorhalte-, Betriebs-, Personal-, Verwaltungs-, Vertriebs- und Trassenkosten.

Für die Binnenschifffahrt werden die Kosten relationsspezifisch unter Berücksichtigung der in 2010 und 2030 streckenspezifisch vorliegenden Flottenstrukturen berechnet²⁷. Die entsprechenden Angaben sind im Rahmen der BVWP entwickelt und von der BAW bereitgestellt worden. Für die Bestimmung der relationspezifischen Flottenstruktur, wird der gesamte Streckenverlauf zwischen Quelle und Ziel nach der Flottenstruktur durchsucht, welche im gewichteten Durchschnitt über alle Schiffstypen die niedrigste Tragfähigkeit liefert. Bei der Berechnung der Fahrgeschwindigkeiten, der Ermittlung der Flottenstrukturen, der Beladung sowie der Berechnung des Treibstoffverbrauchs wurden richtungsspezifische Differenzen aus den vorliegenden Netzinfrastrukturen berücksichtigt. Zur Bestimmung der schiffsgrößenbezogenen Ladungsmenge werden die durchschnittliche Tragfähigkeit der Schiffe, der maximale und der Leertauchtiefgang der Schiffe sowie der reederei- und wasserstandspezifische Auslastungsgrad berücksichtigt. Kosten wurden für die beladene Fahrt ermittelt. Die Berücksichtigung der entsprechenden Leerfahrt zur Ladungsaufnahme erfolgte mit einem Zuschlagsfaktor von 20 %.

Zur Bestimmung der wasserstandspezifischen Auslastung wurden die wasserstraßenseitigen Abladetiefen aus den vorliegenden Binnenschifffahrtsnetzen herangezogen. Diese weisen (sowohl für das Jahr 2010 als auch für das Jahr 2030) für den Streckenabschnitt bei Kaub eine Abladetiefe von 1,60 m aus. Die Nutzung dieser Angabe hätte dazu geführt, dass alle Schiffe, die Kaub passieren, nur teilabgeladen und somit nur zu sehr hohen Kosten fahren könnten, obwohl der Streckenabschnitt an über 133 Tagen mit einer Abladetiefe von 2,8 m und an knapp 200 Tagen mit über 2,5 m gefahren werden kann²⁸. Ähnliche Probleme waren auch in anderen pegelabhängigen Wasserstraßenbereichen vorhanden.

Für die Kostenberechnung in der Binnenschifffahrt wurden daher die vom BMVI zur Verfügung gestellten Binnenschiffsnetze wie folgt angepasst:

- auf dem Rhein wurde durchgehend eine Mindestabladetiefe von 2,5 m unterstellt,
- auf der Elbe zwischen Hamburg und Prag wurde eine Mindestabladetiefe von 2,0 m unterstellt und
- auf dem Main eine Mindestabladetiefe von 2,6 m.

Unterschiedliche Umschlagskosten zwischen den Verkehrsträgern werden nicht betrachtet. Vor- und Nachlaufverkehre werden – wenn möglich – vermieden. Im kombinierten Verkehr werden jedoch bei Verlagerungen zum Lkw eingesparte Vor- und Nachlauf- bzw. Umschlagskosten betrachtet. Anteilige Lagerkosten²⁹ sowie logistische Kosten für die Umstellung der Verkehre blieben bei den Transportkostenberechnungen im Güterverkehr unberücksichtigt.

Die Höhe der hier berechneten Transportkosten ist somit eine stark standardisierte Durchschnittskalkulation zur Abschätzung der Höhe der Kosteneffekte und der Differenzen zwischen den Verkehrsträgern. Die Transportkostenrechnung zielt nicht auf eine detailgetreue Abbildung der tatsächlichen Kosten ab.

²⁷ Unterschiedliche relationsspezifische Flottenstrukturen werden nur bei konventionellen Verkehren genutzt. Im Containerverkehr per Binnenschifffahrt wird je nach Wasserstraßengebiet von einem Koppelverband mit rd. 180 m Länge bzw. den größtmöglichen Einzelfahrer ausgegangen.

²⁸ Angaben für 2017.

²⁹ Lagerräume stehen in der Regel für zwei bis drei Wochen zur Verfügung und sind häufig bereits als Gemeinkosten in den Kalkulationen enthalten, sodass hier nur geringe Zusatzkosten entstehen.

2.4.3 Verkehrstage versus Kalendertage

Für die Stresstestszenarien werden 21 bzw. 180 Sperrtage angesetzt (Tabelle 2-9). Jedoch werden Verkehre aufgrund von Betriebszeiten und gesetzlichen Regelungen nicht an allen Tagen in gleichem Umfang umgesetzt. Deswegen kann die Anzahl der Kalender- und Sperrtage von den relevanten Verkehrstagen abweichen.

Tabelle 2-9: Übersicht über die angenommenen Ausfalldauern und in den Wirkungsrechnungen unterstellten Verkehrstage für die fünf untersuchten Stresstestszenarien.

Szenario	Mittelrhein			Hinterland	
	1: Felssturz	2: Hochwasser	3: Niedrigwasser	4: Extremereignis	5: Extremereignis
Kurzbeschreibung	Vollsperrung B 42 und rechtsrheinische Schienenstrecke	Vollsperrung Rhein, B 9, linksrheinische Schienenstrecke und Fähren	Niedrigere Schiffsauslastung	Vollsperrung der BAB 3	Vollsperrung der Moselstrecke (Schiene)
Ausfalldauer in Kalendertagen					
Straße	21	21	—	180	—
Schiene	21	21	—	—	180
Binnenschiff	—	21	180	—	—
Aus der Sperrung resultierende Verkehrstage					
Straße (Personen & Güter) & Schiene (Personen)	21	21	—	180	180
Schiene (Güter)	18	18	—	—	142
Binnenschiff	—	18	150	—	—
Schiene – Verlagerung vom Binnenschiff	—	9	141	—	—
Binnenschiff – Verlagerung von Schiene	12	—	—	—	141
Straße – Verlagerung von Schiene bzw. Binnenschiff	16	16	148	—	148

Erstellt nach Angaben in Kotzagiorgis et al. (2019)

Im Personenverkehr wird sowohl bei der Schiene als auch bei der Straße von 365 Verkehrstagen ausgegangen. In diesen Fällen sind Verkehrs- und Kalendertage identisch. Im Güterverkehr der Schiene werden im Rahmen der BVWP je nach Produktionssystem 282 bis 285 Verkehrstage angesetzt. Im Durchschnitt gehen wir von 283 Tagen aus auf die das gesamte Verkehrsaufkommen verteilt wird. Bei der Straße geht man in den Verkehrsuntersuchungen eigentlich von 300 Verkehrstagen oder Betriebstagen aus; in der Studie ist jedoch aus modelltechnischen Überlegungen von 365 Verkehrstagen ausgegangen³⁰ worden.

Ähnliche Überlegungen zur Zahl der Verkehrstage sind in der Binnenschifffahrt nicht bekannt. Hier wird im Rahmen der Kostenherleitung für die Binnenschiffe von 340 Arbeitstagen im Jahr ausgegangen. Aber auch hier ist zu berücksichtigen, dass die Zeiträume, auf die sich das Verkehrsaufkommen verteilt, durch Hafen- und Schleusenbetriebszeiten reglementiert sind. Anders als in den meisten großen Seehäfen und auch großen Binnenhäfen wird in der überwiegenden Zahl der Binnenhäfen sonntags nicht gearbeitet. Deswegen gehen wir für die Zwecke dieses Forschungsprojektes von 300 Verkehrstagen aus, was in etwa Betriebszeiten von Montag bis Samstag bedeutet.

³⁰ Dies ist eine sehr vereinfachte Annahme, die allein aus technischen Gründen erfolgte, da die umgesetzte Verkehrsverlagerung auf dieser Basis kalibriert wurde. In der Regel finden Straßengüterverkehre ebenfalls an rd. 300 bis 320 Verkehrstagen statt.

Diese verkehrsträgerspezifisch unterschiedlichen Ansätze zur Zahl der Verkehrstage erschwert die Umrechnung von einem auf den anderen Verkehrsträger. Insgesamt soll durch die unterschiedlichen Betriebstage die Konzentration des Güterverkehrs auf die Arbeits- und Werkstage erreicht werden.

Die in der Verkehrsverflechtungsprognose enthaltenen Jahreswerte werden durch den Ansatz der oben genannten Verkehrstage auf tagesspezifische Werte heruntergebrochen. Bei der Berechnung der verkehrlichen Effekte wird die szenarienspezifische Abgrenzung zu den Kalendertagen berücksichtigt. Im Falle von Verlagerungen auf andere Verkehrsträger können Anlaufphasen für die Findung geeigneter Kapazitäten die entsprechende Zahl der Tage weiter vermindern. Tabelle 2-9 können die im Rahmen der Stresstestszenarien verkehrsträgerspezifisch angenommenen Verkehrstage entnommen werden.

2.5 Anpassungsreaktionen einzelner Wirtschaftssubjekte an das Auftreten von Extremereignissen

Bei Eintreten von Extremereignissen erfolgen von den einzelnen Wirtschaftssubjekten im Personen- und Güterverkehr Anpassungsreaktionen, um die Reisen bzw. Gütertransporte (sog. Verkehre) nach Eintritt eines Ereignisses soweit möglich umzusetzen. Zur Bestimmung dieser unterschiedlichen Anpassungsreaktionen standen nicht nur die aus einer Mediananalyse vorhandenen Erkenntnisse, sondern es wurde zusätzlich eine Unternehmensbefragung durchgeführt, um mehr Informationen zu den komplexeren Anpassungsreaktionen im Güterverkehr zu erhalten. Die verallgemeinerten Erkenntnisse sind in die Szenariorechnungen der Verkehrsstrommodellierung eingeflossen.

2.5.1 Personenverkehr

Straße: Führen Extremereignisse zu Einschränkungen im Straßenverkehr, verzichten betroffene Personen entweder ganz auf die Fahrt (wenn die Wege z. B. durch einen Hangrutsch oder ein Hochwasserereignis ganz versperrt sind) oder suchen nach Alternativrouten bzw. nehmen Umwege in Kauf. Bei der Suche nach Alternativen wird i. d. R. zuerst geprüft, inwiefern eine alternative Lösung mit dem Pkw besteht. Wenn die Kosten des Alternativweges, verbunden mit den zusätzlich entstehenden Reisezeiten, zu hoch ausfallen, wird geprüft, ob die Nutzung eines anderen Verkehrsmittels günstiger ist, also eine Verlagerung von der Straße auf die Schiene erfolgen kann.

Schiene: Im Schienenpersonenverkehr können die Züge im Falle einer Streckensperrung entweder umgerroutet werden oder es wird ein Schienenersatzverkehr eingerichtet. Umrountungsmöglichkeiten bestehen dabei insbesondere im Fernverkehr, wenn die Züge nicht in der von der Streckensperrung betroffenen Region halten müssen und ausreichend Kapazitäten auf den Ausweichrouten vorhanden sind. Müssen dagegen die Züge in der betroffenen Region halten, ist die Einrichtung eines Schienenersatzverkehrs zu prüfen, da mit dem Verzicht eines Anlaufens bestimmter Halte Bedienungseinschränkungen verbunden sind. Hierbei ist zu beachten, dass in der Nähe der Endpunkte des Schienenverkehrs Möglichkeiten für einen Streckenwechsel vorliegen müssen, damit der Schienenverkehr bis zu den Sperrpunkten auch bei dichten Fahrplankontakten umgesetzt werden kann. Die Möglichkeit der Verlagerung des Verkehrs auf die Straße ist insbesondere dann zu berücksichtigen, wenn

- keine Halte entfallen sollen,
- auf Alternativrouten wenig Kapazitäten zur Verfügung stehen und
- Fahrpläne durch ein Extremereignis nicht wesentlich verändert werden sollen.

In Abhängigkeit von der räumlichen Verortung und der Dauer einer Extremsituation ist die Errichtung eines Schienenersatzverkehrs im Mittelrheintal sowohl im Nah- als auch im Fernverkehr grundsätzlich möglich.

Dauerhafte Umrountungen im Personenverkehr sind vorstellbar, wenn durch ein Extremereignis eine Strecke über einen sehr langen Abschnitt gesperrt werden muss und Nachfrageverluste durch die Nichtbedienung

von Halten eingeschränkt werden können. In der Regel führen Umroutungen von Zügen zur deutlichen Senkung von Kapazitäten auf den Ausweichstrecken und zu erforderlichen Fahrplanänderungen.

2.5.2 Güterverkehr

Im Güterverkehr sind aufgrund der Heterogenität der gefahrenen Güter und der branchenspezifisch unterschiedlichen Produktionsprozesse auch stärker differierende Reaktionen möglich. Typische Anpassungsreaktionen der verladenden Wirtschaft umfassen folgende Alternativen:

- Produktionsstillstand und Wegfall von Verkehren, wie z. B. zeitlich terminierte Spotverkehre,
- Versorgung über ein eigenes Zwischenlager ohne eine direkte verkehrliche Reaktion,
- Verschiebung von Transporten auf einen anderen Zeitpunkt, z. B. bei Exporten mit einer hohen Lagerdauer in den Seehäfen (Auffüllen von BLE-Lagern³¹ in den Seehäfen),
- Einsatz von kleineren Transporteinheiten im Schiffsverkehr (bei Niedrigwasser),
- Abwicklung des Transports mit demselben Verkehrsträger über eine Alternativroute,
- Abwicklung des Transports mit demselben Verkehrsträger über einen anderen Zugangspunkt,
- Abwicklung des Transports mit einem anderen Verkehrsträger.

Nicht alle Reaktionen sind gleichwertig oder von allen Unternehmen in gleichem Maß umsetzbar. Zudem hängen sie von der Dauer der Transporteinschränkung und wirtschaftlichen Erwägungen ab. Dabei können sich kritische Ausfallzeiten der Infrastruktur aufgrund unterschiedlicher Produktionsprozesse je nach Branche stark unterscheiden. Teils kann auf größere Lagerbestände von drei bis vier Wochen zurückgegriffen werden (z. B. in der Energie-, Stahl- und Mineralölindustrie). In den meisten Branchen liegen die Lagerkapazitäten jedoch zwischen ein und zwei Wochen. Einige Unternehmen führen eigene Lager (z. B. im Energie- und Mineralölsektor üblich), während andere aufgrund der „Just in time“ Belieferung geringe Lagerkapazitäten von knapp 12 h haben (z. B. Automobilindustrie). Automobilexporte über die Seehäfen lagern dort jedoch in der Regel bis zu einer Woche und können somit bei Vorliegen eigener Lagerflächen zeitlich verschoben werden. Bei einigen Transporten können auch längere Transportverschiebungen problemlos sein, z. B. wenn damit ein BLE-Lager für den Getreideexport aufgefüllt werden soll.

Der Einsatz kleinerer bzw. unterausgelasteter Einheiten ist im Schiffsverkehr (z. B. bei Niedrigwasser) prinzipiell möglich, wenn auch kostenmäßig ungünstiger. In einigen Bereichen, wie beispielsweise im Containerverkehr, können kürzere oder längere Sperrungen zu Verlagerungen auf andere Verkehrsträger oder zu Verlagerungen auf andere Transportpunkte führen. So kann beispielsweise der normalerweise direkt per Bahn oder Binnenschiff von Andernach nach Rotterdam gehende Verkehr über Köln geführt werden, was einen längeren Vor- oder Nachlauf per Straße nach sich zieht. Hier gibt es fahrplanmäßige Linienangebote von Bahn- und Binnenschiffsdiensten, wodurch ausreichende Kapazitäten bei mehreren Verkehrsträgern gleichzeitig vorliegen, die dann auch für kurzfristige Verlagerungen genutzt werden können.

Generell ist die Umsetzung von kurzfristigen Verlagerungen von einem auf den anderen Verkehrsträger, wie z. B. von Binnenschiffsverkehren auf der Schiene, nicht immer möglich. Erforderliche Zeiten für die Bereitstellung von Personal, Material (Wagen, Lokomotiven) und Trassen³² schränken die sofortige Verlagerung von Verkehren vom Binnenschiff auf die Bahn deutlich ein. Bis ein entsprechender Verkehr aufgebaut worden ist, vergehen i. d. R. mehrere Tage bis zu drei Wochen. Einfacher umsetzbar ist zumeist eine potentielle Verlagerung von Binnenschiffs- und Schienenladung auf den Lkw, auch wenn auch hier die Verfügbarkeit von Lkw-Fahrern und freien Lkw ein immer größer werdendes Problem darstellt. Solch eine Verlagerung ist allerdings nur bei Stückgütern und massenhaften Stückgüter (wie z. B. Schrott) vorstellbar.

³¹ Interventionsgetreide

³² Die erforderliche Trassenbereitstellung kann bei der DB Netz AG einige Tage in Anspruch nehmen. Erfahrungen mit der Sperrung bei Rastatt in 2017 zeigen, dass Trassenanfragen in Extremsituationen auch innerhalb von zwei bis drei Tagen bedient werden können.

Bei Massengütern ist die erforderliche Anzahl von Lkw i. d. R. nicht verfügbar und die ausschließliche Belieferung von Tanklagern und Kohlekraftwerken mit Lkw würde eine Vielzahl von betrieblichen Problemen aufwerfen. Verlagerungen von der Schiene zum Binnenschiff sind zumindest auf den Korridoren Rhein-Alpen und Rhein-Donau aufgrund der Verfügbarkeit von ausreichendem Schiffsraum vorstellbar.

Die Reaktion der Betroffenen kann je nach Branche, aber auch nach den standortspezifischen Voraussetzungen sehr unterschiedlich ausfallen. Um im Rahmen der Umsetzung der Stresstestszenarien verkehrsträger- und branchenspezifisch unterschiedliche sowie realistische Anpassungsreaktionen berücksichtigen zu können, sind mehrere Experteninterviews mit Unternehmensvertretern verschiedener Branchen geführt worden. Die aus den Gesprächen gezogenen Erkenntnisse sind verallgemeinert auf die gesamte Branche angewendet worden. Die befragten Unternehmen gehören zu folgenden Branchen:

- Schienenlogistik
- Tongruben
- Ölsaatenverarbeitung
- Sand- und Kieswerke
- Energie
- Mineralöltanklager
- Zementindustrie
- Chemie
- Papier- und Zellstoff
- Containerlogistik
- Eisen- und Stahlverarbeitung

Straße: Generell wird die Straße von allen Gesprächspartnern als der flexibelste Verkehrsträger angesehen. Von den Gesprächspartnern wurden auch bei den aktuellen Extremsituationen keine nennenswerten Behinderungen genannt. Lediglich wenn Anlagen von einem Hochwasser direkt überflutet werden, können Verkehre nicht umgesetzt werden. In allen anderen Fällen sind die Verkehre aufgrund der Dichte des Straßennetzes durch Umroutungen immer umsetzbar, ohne dass weitere Anpassungsreaktionen erforderlich sind. Im Rahmen der Szenariorechnungen wird deswegen davon ausgegangen, dass bei Sperrung von Streckensegmenten aufgrund von Extremwetterereignissen geeignete Umroutungen erfolgen. Diese Anpassung kann auch sehr kurzfristig erfolgen.

Schiene: Von den Verladern wurden kaum negative Erfahrungen mit Schienenverkehren durch Extremwittersituationen genannt. Dennoch sind sie der Meinung, dass Ereignisse durch Extremsituationen, wie z. B. Streckensperrungen aufgrund von Sturm, Hochwasser und Hangrutschung, bei der Schiene potentiell zu empfindlichen Einschränkungen des Verkehrs führen können. Die Absenkung der Rheintalstrecke bei Rastatt durch Tunnelarbeiten wurde als größte bekannte Störung aufgeführt. Wetterbedingte Sperrungen von Streckenabschnitten der Schiene sind häufig auf Sturmschäden durch entwurzelte Bäume zurückzuführen. In diesen Fällen wird der Verkehr umgeleitet und nach einigen wenigen Tagen hat sich die Verkehrssituation i. d. R. wieder normalisiert.

Als erste unmittelbare Reaktion auf eine Streckensperrung wird eine Umroufung der Verkehre über andere Strecken versucht. Führen diese Umroutungen zu Kapazitätsengpässen können ggf. nicht alle Schienenverkehre umgesetzt werden. In diesem Falle erfolgt eine Verlagerung der Güter auf Binnenschiffe und Lkw (Stückgüter). Die dafür notwendige Bereitstellung von Lkw- und Binnenschiffskapazitäten benötigt im konventionellen Verkehr mehrere Tage bis zu einer Woche. Im kombinierten Verkehr ist in Abhängigkeit der betroffenen Ladung (Container oder nicht stapelbare Wechselbehälter/Trailer) ein sofortiger Wechsel auf Binnenschiff bzw. Lkw möglich.

Binnenschiff: Fast alle befragten Verloader gaben an, dass beim Binnenschiff verkehrliche Einschränkungen durch Extremwittersituationen am häufigsten auftreten. Dabei sind weniger die Hochwassersituationen relevant (i. d. R. zu kurz), als vielmehr langandauernde Niedrigwassersituationen. Dementsprechend sind aktuell bezüglich Hochwasser kaum Anpassungsreaktionen erforderlich, da die betroffenen Unternehmen aufgrund der bestehenden Lagerbestände den Engpass kaum spüren. Nicht erfolgende Transporte werden zu einem späteren Zeitpunkt umgesetzt; ggf. unter Schaffung zusätzlichen Schiffsraums zur Umsetzung des Gesamtverkehrs. Bei Niedrigwassersituationen können die Schiffe nicht voll ausgelastet werden, sodass die

Transporte durch Kleinwasserzuschläge teurer werden. Darüber hinaus muss zusätzlicher Schiffsraum angeschafft werden, um das Gesamtaufkommen zu bewältigen. Der Einsatz kleinerer Schiffe wurde kaum als Alternative genannt, da er im Rheingebiet aufgrund der geringen verfügbaren Zahl solcher Schiffe nur im Einzelfall umsetzbar ist.

Verlagerungen auf andere Verkehrsträger, wie z. B. zur Schiene, sind erst nach einer Transportplanungszeit von ein bis zwei Wochen möglich. Eine solche Verlagerung ist zudem nur denkbar, wenn in Abhängigkeit der durch das Niedrigwasser verfügbaren Abladetiefe die Kosten des Binnenschiffes gegenüber der Schiene ungünstiger werden. Auch wenn solche Verlagerungen gemäß den Aussagen der befragten Verloader bisher kaum auftraten, sind sie bei extremen Niedrigwassersituationen, wie sie in 2018 aufgetreten sind, zu erwarten. Sofortige Verlagerungen zur Straße sind im Stückgutbereich und hier insbesondere im Containerverkehr vorstellbar, wenn entsprechende Verkehre per Schiene nicht umsetzbar sind.

3 Fallbeispiel Stresstestszenario „Hochwasser“ – Ausführliche Ergebnisdarstellung

- Am Beispiel des Hochwasserszenarios – in dem alle drei Verkehrsträger betroffen sind – werden die vielfältigen Ergebnisse der durchgeführten verkehrlichen Wirkungsanalyse dargestellt, wobei der Fokus auf dem Verkehrszustand 2010 liegt.
- Über alle Verkehrsträger hinweg addieren sich für den Verkehrszustand des Jahres 2010 die Zusatzkosten auf knapp 40 Mio. € für den Sperrzeitraum von drei Wochen.
- Von der hochwasserbedingten Sperrung sind im Prognosejahr 2030 mehr Verkehre betroffen als im Jahr 2010. Die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer sind für beide Betrachtungszeiträume ähnlich. Die verkehrlichen Zusatzkosten über die Hochwassersperrzeit belaufen sich auf rd. 51,7 Mio. €.
- Verkehrsträger Straße: Die durch die Sperrung erforderlichen Umrundungen führen zu einer täglichen Mehrbelastung von rd. 74.000 km bzw. 150 Stunden pro Tag. Daraus ergibt sich eine Zusatzbelastung von 20.795 €/Tag (insb. aufgrund der Mehrkilometer).
- Verkehrsträger Schiene: Die Züge des Schienenpersonenfernverkehrs (SPFV) und des Schienengüterverkehrs (SGV) werden aufgrund der Sperrung der linksrheinischen Strecke nun rechtsrheinisch geführt oder großräumig umgeroutet. Im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) wird ein Schienenersatzverkehr eingerichtet.
- Im SPFV bzw. SPNV erhöht sich durch die Sperrung im Modell die Gesamtfahrzeit aller betroffenen Passagiere um rd. 5.051 bzw. 979 Stunden pro Tag. Dies verursacht einen gesamtwirtschaftlichen Schaden (Erreichbarkeitsnachteile) von rd. 126.365 bzw. 7.830 €/Tag. Hinzu kommen im SPFV die zusätzliche Tagesbelastung von rd. 3.900 €/Tag für die höheren Zugkosten (längeren Fahrt) sowie im SPNV die Betriebskosten für Busse des Schienenersatzverkehrs in Höhe von 4.000 €/Tag.
- Im Schienengüterverkehr sind aus Kapazitätsgründen nicht alle Züge umsetzbar. Der tägliche Ladungsverlust beträgt rd. 4.000 t. Da die Wasserstraße gesperrt ist, werden davon rd. 3000 t/Tag (Annahme der Nutzung von Lagerkapazitäten und somit des Transportverzichts für masseffine Güter während der Sperrdauer) auf die Straße verlagert und per Lkw umgesetzt. Die resultierenden zusätzlichen 147.066 Lkw-km sind mit Kosten in Höhe von knapp 178.000 €/Umfuhrtag verbunden.
- Verkehrsträger Wasserstraße: Aufgrund der bereits hohen Auslastung der Schiene wird angenommen, dass Unternehmen mit hohen Lagerkapazitäten (3-4 Wochen für Kohlekraftwerke, Tanklager und Stahlunternehmen) während des Hochwassers auf eine Zwischenversorgung der Lager verzichten. Für etwa 65 % der betroffenen Verkehre (rd. 134.000 t pro Verkehrstag bzw. 2,4 Mio. t im Sperrzeitraum) werden alternative Verkehrsmöglichkeiten gesucht. Eine Verlagerung in diesem Umfang führt beim Binnenschiff zu einer Kostenentlastung von rd. 2,1 Mio. € pro Verkehrstag.
- Auf der Schiene können etwa 55 % (Transportmenge von rd. 1,3 Mio. t) der für eine komplette Verlagerung von der Wasserstraße auf die Schiene gebildeten Züge umgesetzt werden (der Großteil davon über ausländische Netze). Die damit verbundenen zusätzlichen 177.000 Zug-km pro Tag sind mit Kosten von rd. 3,4 Mio. € pro Verkehrstag bzw. 25,1 €/t verknüpft.
- Rd. 1,1 Mio. t der Verkehrsmengen können per Schiene nicht abgefahren werden und werden daher auf die Straße verlagert. Dies führt zu einem Lkw-Mehrverkehrsaufkommen von 2,1 Mio. Lkw-km und damit verbundenen Kosten von rd. 2,6 Mio. € pro Tag
- Hochwasserdauern von über vier Wochen und (wahrscheinliche) Restriktionen im ausländischen Netz würden die Situation insbesondere bei den Massengütern deutlich verschlimmern.

3.1 Vorbemerkungen

Die angewendete Methodik und die Herleitung der Ergebnisse wird nachfolgend für das Stresstestszenario *Hochwasser* im Detail erläutert. Es handelt sich um das komplexeste der fünf definierten Szenarien, da durch die skizzierte extreme Hochwassersituation Personen- und Güterverkehre und alle betrachteten Verkehrsträger (Wasserstraße, Schiene und Straße) gleichzeitig betroffen sind. Die Auswertung erfolgte für die übrigen im Rahmen des Projektes betrachteten Stresstestszenarien analog, jedoch jeweils mit Fokus auf einzelne Verkehrsträger. Eine Zusammenschau der Ergebnisse aller Szenarien folgt in Kapitel 4.

3.2 Verkehrliche Randbedingungen des Szenarios

Dieses Szenario sieht, wie bereits in Abschnitt 2.1.3 beschrieben, eine Hochwassersituation im Raum Oberwesel vor, wodurch der Gütertransport per Binnenschiff zwischen St. Goar und Kaub für 21 Tage eingestellt wird. Darüber hinaus werden hochwasserbedingt auch die B 9 sowie die linksrheinische Schienenstrecke mit der Streckennummer 2630 im Raum Oberwesel (Verbindung zwischen Oberwesel und Bacharach) gesperrt. Darüber hinaus wird hochwasserbedingt der Fährverkehr zwischen St. Goar und St. Goarshausen sowie zwischen Lorch und Niederheimbach geschlossen. Alle anderen Fähren bleiben während des Hochwassers in Betrieb, was bei einer großräumigen Hochwassersituation ggf. unrealistisch ist. Zudem ist bei einer großräumigen Hochwassersituation entlang des Rheins ggf. mit weiteren Streckensperrungen von Schiene und Straße zu rechnen, welche die Umrountungsoptionen innerhalb eines Verkehrsträgers sowie die Verlagerungspotentiale auf andere Verkehrsträger weiter einschränken können, sodass die hier abgeschätzten Wirkungen zu vorsichtig ausfallen.

Nach Eintritt des Ereignisses werden ab dem ersten Tag die über die B 9 und die beiden Fähren verlaufenden Straßenverkehre umgeleitet, unabhängig davon, ob es sich um Personen- oder Güterverkehre handelt. Für die Zeit der Sperrung der schienenseitigen Verbindung zwischen Oberwesel und Bacharach wird im Schienenpersonennahverkehr (SPNV) ein Schienenpersonenersatzverkehr eingesetzt. Die auf dem linksrheinischen Abschnitt verkehrenden Züge des Schienenpersonenfernverkehrs (SPFV) werden ab dem ersten Tag der Sperrung zwischen Koblenz und Mainz über die rechtsrheinische Strecke geführt, sodass die Bedienung des Verkehrs weitestgehend aufrechterhalten werden kann³³. Allerdings schränkt die Umrountung die Kapazitätssituation des rechtsrheinischen Abschnitts zwischen Koblenz und Mainz ein. Im Schienengüterverkehr (SGV) werden ab dem ersten Tag der Sperrung Alternativrouten gefahren, wobei Kapazitätsengpässe und etwaige damit verbundene Verlagerungen von Verkehren auf andere Verkehrsträger mitbetrachtet werden. Da das Binnenschiff aufgrund der Hochwassersituation nicht nutzbar ist, wird der gesamte, nicht mehr über die Bahn abwickelbare Verkehr auf die Straße verlagert. Die hochwasserbedingte Sperrung des Rheinabschnittes für drei Wochen führt zu massiven Beeinträchtigungen im Bereich des Binnenschiffgütertransportes.

In einigen Güterbereichen bzw. Branchen liegen in der Regel ausreichende Lagerkapazitäten von drei bis vier Wochen vor, die es den Unternehmen ermöglichen, die Produktion auch ohne weitere Transporte über die gesamte Hochwasserdauer aufrecht zu erhalten. Solche hohen Lagerkapazitäten liegen nach der durchgeführten Befragung in der Versorgung von Energie-, Stahl- und Tanklagerunternehmen mit der Versorgung an Koks und Kohle, Eisenerz sowie Rohöl und Mineralölprodukten vor. In allen anderen Gütersegmenten bzw. Wirtschaftssektoren, auch in der Chemieindustrie, sind die Lagerkapazitäten mit ein bis zwei Wochen deutlich niedriger. Hier müssen die Unternehmen bereits während der Hochwasserperiode auf Alternativtransporte entweder per Bahn oder Straße zurückgreifen.

Binnenschiffs- und Schienenverkehre sind i. d. R. hinsichtlich ihrer Ladungsspezifika sehr homogen. Daher wird angenommen, dass die Unternehmen versuchen werden, diese Binnenschifftransporte zuerst mit der

³³ Durch die Umrountung der Fernverkehrszüge auf die rechtsrheinische Strecke entfällt der Halt Bingen bei einigen EC-Zügen. Da detaillierte bahnhofsspezifische Personenverkehrsmatrizen nicht vorliegen, kann die Wirkung des Entfalls des Halts nicht quantifiziert werden.

Bahn zu befördern. Da den Unternehmen jedoch bewusst ist, dass nicht alle Transporte auf der Schiene befördert werden können, werden sie parallel auch nach einem alternativen Straßentransport suchen. Um die jeweiligen Verkehre zu trennen, ist im Rahmen einer schienenseitigen Umlegung geprüft worden, welche Binnenschiffsverkehre im Schienennetz aufgrund vorhandener Kapazitäten noch abgefahren werden können. Hierzu ist für jede vom Hochwasser betroffene Binnenschiffsrelation die entsprechende Anzahl von Zügen pro Tag gebildet und im Schienennetz umgelegt worden. Hierbei sind die Abfahrtszeiten dieser neu gebildeten Züge auf die Nachzeitscheibe zwischen 22:00 Uhr abends und 6:00 Uhr morgens gelegt worden, da hier auf den meisten Strecken noch streckenspezifische Kapazitäten frei sind, während die Kapazitäten in den Tageszeiten durch den Schienenpersonenverkehr weitestgehend ausgeschöpft sind. Anfallende Leerfahrten sind im Rahmen der Zugbildung ebenfalls berücksichtigt worden.

In den Berechnungen wurde berücksichtigt, dass für die Umsetzung der Schienengütertransporte eine Anlaufphase von mindestens zehn Tagen erforderlich ist. Die betroffene, von der Binnenschifffahrt auf die Bahn verlagerte Menge wird durch entsprechende Mehrverkehre in der verbleibenden Restzeit (zwischen dem 11. und 21. Hochwassertag) per Schiene abgefahren. Güterverkehre, die im Rahmen der Schienenumlegung zu hohe Zugfolgeverspätungen realisieren oder aus Kapazitätsgründen keine freien Trassen mehr erhalten, werden abgewiesen und auf die Straße verlagert. Diesen Berechnungen liegt die Annahme zu Grunde, dass die für den Ersatztransport auf der Straße erforderlichen Lkw in der Regel nach wenigen Tagen (Annahme: zwei Tage) bereitgestellt werden können, sprich den auf den Lkw wechselnden Unternehmen von vorneherein bekannt war, dass sie keine Trasse auf der Schiene bekommen würden.³⁴ Diese Annahme einer Art vollkommener Information sowie einer schnellen Trassenfindung bei der DB Netz AG führen zu einer eher optimistischeren Verkehrsverlagerungsprognose.

Die Szenariorechnungen gehen des Weiteren davon aus, dass ausreichende Kapazitäten an Zügen, Wagen, Lkw und anderen Anlagen (Gleiskapazitäten in den Anlagen des Güterverkehrs, Umschlagsgeräte, Rangierkapazitäten etc.) zur Verfügung stehen. Hierüber liegen keine gesonderten Informationen vor. Auch ist bei der Interpretation der Ergebnisse der Szenariorechnungen zu berücksichtigen, dass Kapazitätsengpässe im Ausland nicht bekannt sind.

Die Wirkungsbetrachtung erfolgt sowohl für den Verkehrszustand des Jahres 2010 als auch für die Prognose 2030. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die von der Binnenschifffahrt und von der Bahn auf die Straße verlagerten Verkehre zwischen dem 3. und dem 21. Tag gleichmäßig abtransportiert werden; bei den Transporten, die von der Binnenschifffahrt auf die Bahn wechseln, zwischen dem 11. und dem 21. Sperrtag. Hieraus ergeben sich auch unterschiedliche Verkehrstage. In den Abschnitten 3.3 bis 3.6 sind zunächst die Ergebnisse für den Verkehrszustand des Jahres 2010 dargestellt. In Abschnitt 3.7 werden dann vergleichend die Ergebnisse für das Prognosejahr 2030 hinzugezogen.

3.3 Verkehrliche Wirkung der von der Sperrung betroffenen Straßenverkehre

3.3.1 Ausgangssituation

Durch das Hochwasser wird die B 9 durch Oberwesel voll gesperrt, ebenso die Fähren bei St. Goar und Lorch. Von der Sperrung der B 9 sind im nördlichen Bereich ungefähr 3.200 Fahrzeuge pro Tag betroffen, davon 176 im Lkw-Verkehr (rd. 6 %) und im südlichen Bereich zwischen Oberwesel und Bacharach rd. 4.400 Fahrzeuge pro Tag (davon 312 Lkw). Es handelt sich überwiegend um lokale Verkehre zwischen Koblenz und Bingen. Das Verkehrsaufkommen konzentriert sich im Wesentlichen zwischen Koblenz –

³⁴ Dies ist lediglich eine Möglichkeit, um die Engpassfolgen abzuschätzen. Vorstellbar sind auch andere Möglichkeiten, wie z. B. das Verteilen von eher schienenaffinen Gütern auf die Schiene und von eher Lkw-affinen Gütern auf den Lkw. Modelltechnisch müssten hierzu Informationen darüber vorliegen, welche Güter nur auf der Schiene transportiert werden können und welche überwiegend auf der Straße. Diese Informationen liegen nicht vor. Auch würde man in diesem Fall auf die Vernunft der Transporteure setzen, freiwillig zu Gunsten anderer auf ein kostengünstigeres Verkehrsmittel zu verzichten. Alternativ bräuchte man eine Institution, die diese Güterverteilung vornimmt.

Mannheim und Frankfurt (Abbildung 3-1). 65 % der Verkehre laufen über Distanzen bis 100 km, rd. 45 % des Verkehrsaufkommens bis 70 km.

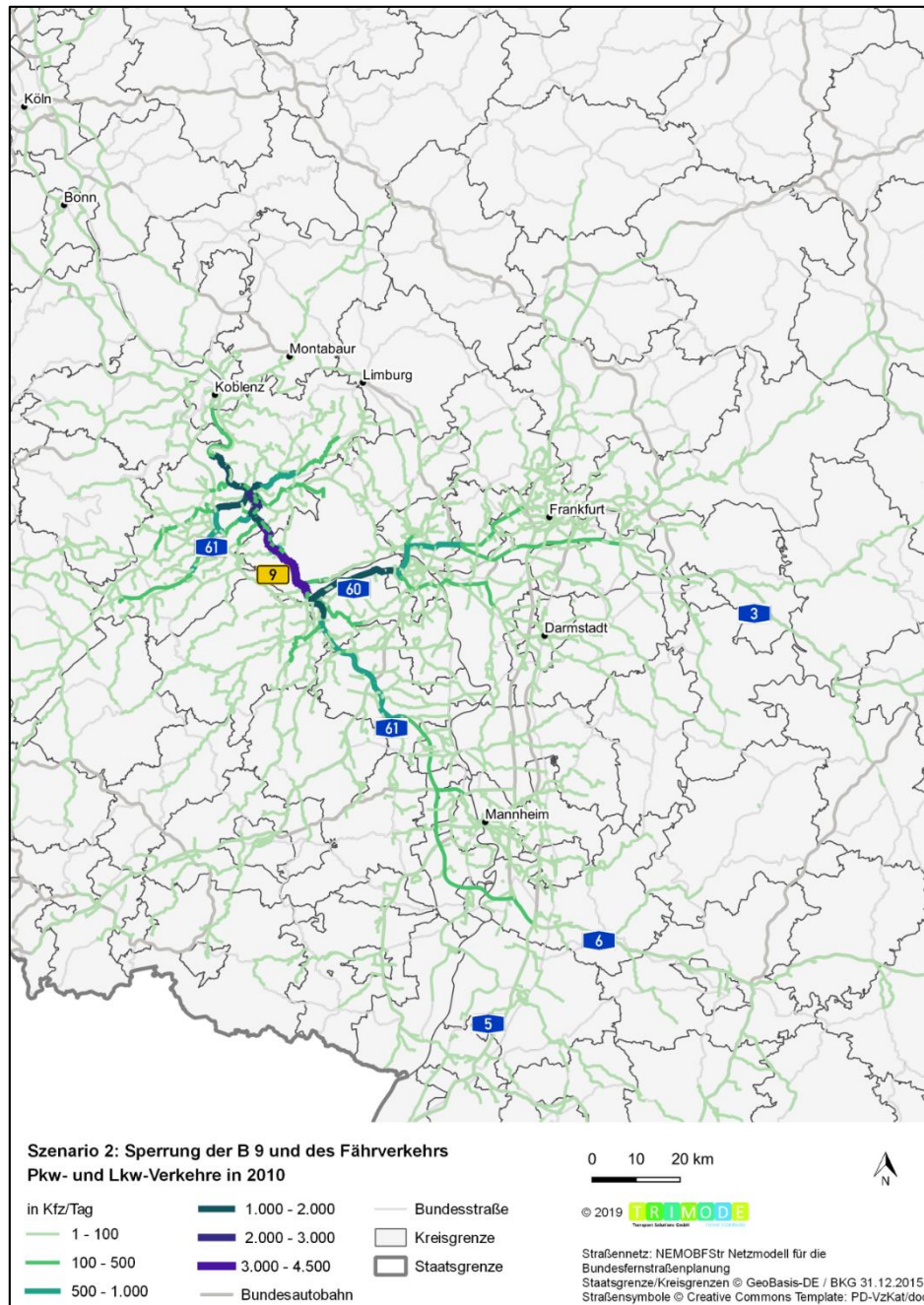


Abbildung 3-1: Verlauf der Fahrzeuge im Straßenverkehr über den im Szenario gesperrten Abschnitt an der B 9 und der Fähren im Raum Oberwesel in Kfz/Tag im ungestörten Zustand (Analyse 2010; nur BAB und Bundesstraßen); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Von der Sperrung der Fähre in St. Goar sind im Jahr 2010 knapp 950 Fahrzeuge pro Tag betroffen und von der Sperrung der Fähre in Lorch 322 Fahrzeuge. Über beide Fähren werden in der Regel lokale Verkehre geführt. In St. Goar weisen 75 % der Verkehre eine Verkehrsdistanz von bis zu 50 km auf, 98 % bis 100 km. In Lorch weisen 83 % der Verkehre eine Verkehrsdistanz bis 50 km und 94 % der Verkehre eine bis 100 km auf.

3.3.2 Auswirkungen auf den Straßenverkehr im Analysejahr 2010

Die Sperrung der B 9 durch Oberwesel führt zu einer Umroufung der Verkehre über die vorhandenen Umfahungsstrecken zwischen Oberwesel und Bacharach. Aufgrund deren begrenzter Aufnahmefähigkeit für größere Verkehre erfolgen bereits ab Bingen und Boppard auch Umroufungen über die BAB 61. Diese nimmt je nach Abschnitt zwischen 60 % und 85 % der von der Hochwassersperrung umgeleiteten Verkehre auf (vgl. Abbildung 3-2 sowie Abbildung 3-3). Der Verkehr auf der B 9 sinkt bereits ab Kestert sehr stark (rd. 3.900 Fahrzeuge). Diese Entlastung ist bis Münster-Sarmsheim sichtbar. Trotz teilweise erheblicher Veränderung sind aufgrund des geringen betroffenen Gesamtverkehrsaufkommens nur geringe Belastungsveränderungen im regionalen Verkehrssystem zu beobachten.

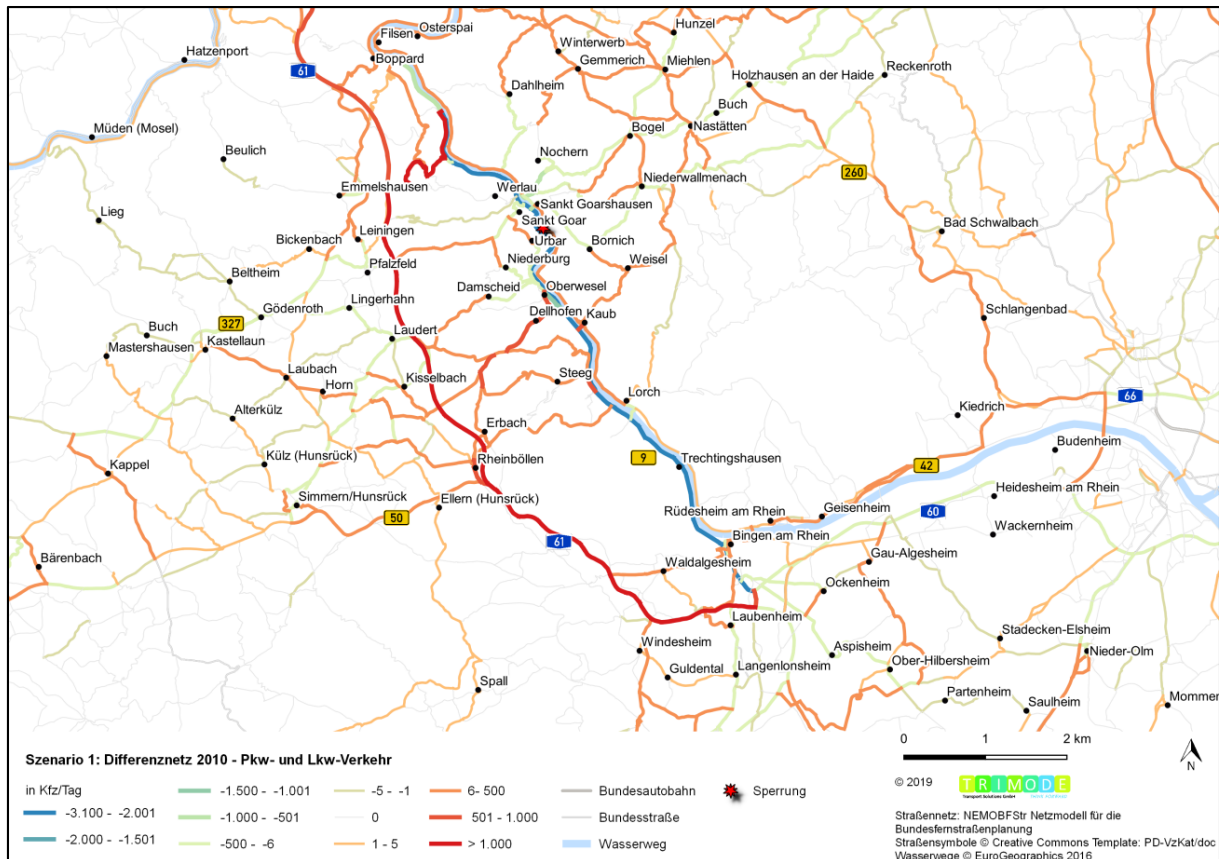


Abbildung 3-2: Umroufungen der Fahrzeuge im Straßenverkehr bei einer Sperrung der B 9 und der Fähren im Raum Oberwesel in Kfz/Tag im Nahbereich (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Die durch die Sperrung erforderlichen Umroufungen führen zu einer täglichen Mehrbelastung von rd. 74.000 km bzw. 150 Stunden pro Tag. Im Güterverkehr führt die Umroufung zu einer Mehrbelastung von knapp 8 km bzw. 6 Minuten je Fahrt. Im Personenverkehr sind es rund 13 zusätzliche Kilometer je Fahrt, allerdings nur knapp 1 Minute an zeitlicher Mehrbelastung. Es wird deutlich, dass die Umroufung zwar mit einer höheren Fahrdistanz verbunden ist, allerdings gegenüber der Erstwahl kaum zu zeitlichen Nachteilen führt.

Bewertet mit den betriebswirtschaftlichen Kosten für den Pkw- und Güterverkehr, die sich an die Arbeiten aus der BVWP³⁵ anlehnen, führt dies zu einer Erhöhung der Fahrzeugkosten von rd. € 20.500 €/Tag (davon

³⁵ Im Personenverkehr wird mit variablen Kosten von 0,2488 €/km und fixen Kosten von 1,72€ Fz-h kalkuliert. Im Güterverkehr werden variable Kosten von 0,59 €/km und von 35,95 €/Fahrt-h angesetzt. Hierbei sind Personalkosten für den Fahrer mitberücksichtigt.

17.942 € im Personen- und 2.584 € im Güterverkehr). Darüber hinaus werden die zusätzlichen Zeitkosten des Gütertransportes und der rd. 5.300 Personenfahrten berücksichtigt. Hier wird auf die entfernungsabhängigen Zeitansätze aus der BVWP zurückgegriffen. Es entstehen aufgrund der geringen Zeitunterschiede nur Kosten von rd. 270 €/Tag (57 € im Personen- und 215 € im Güterverkehr). Insgesamt ergibt sich damit über den gesamten Zeitraum der hochwasserbedingten Sperrung der B 9 eine Zusatzbelastung von 0,437 Mio. € (bzw. 20.795 €/Tag).

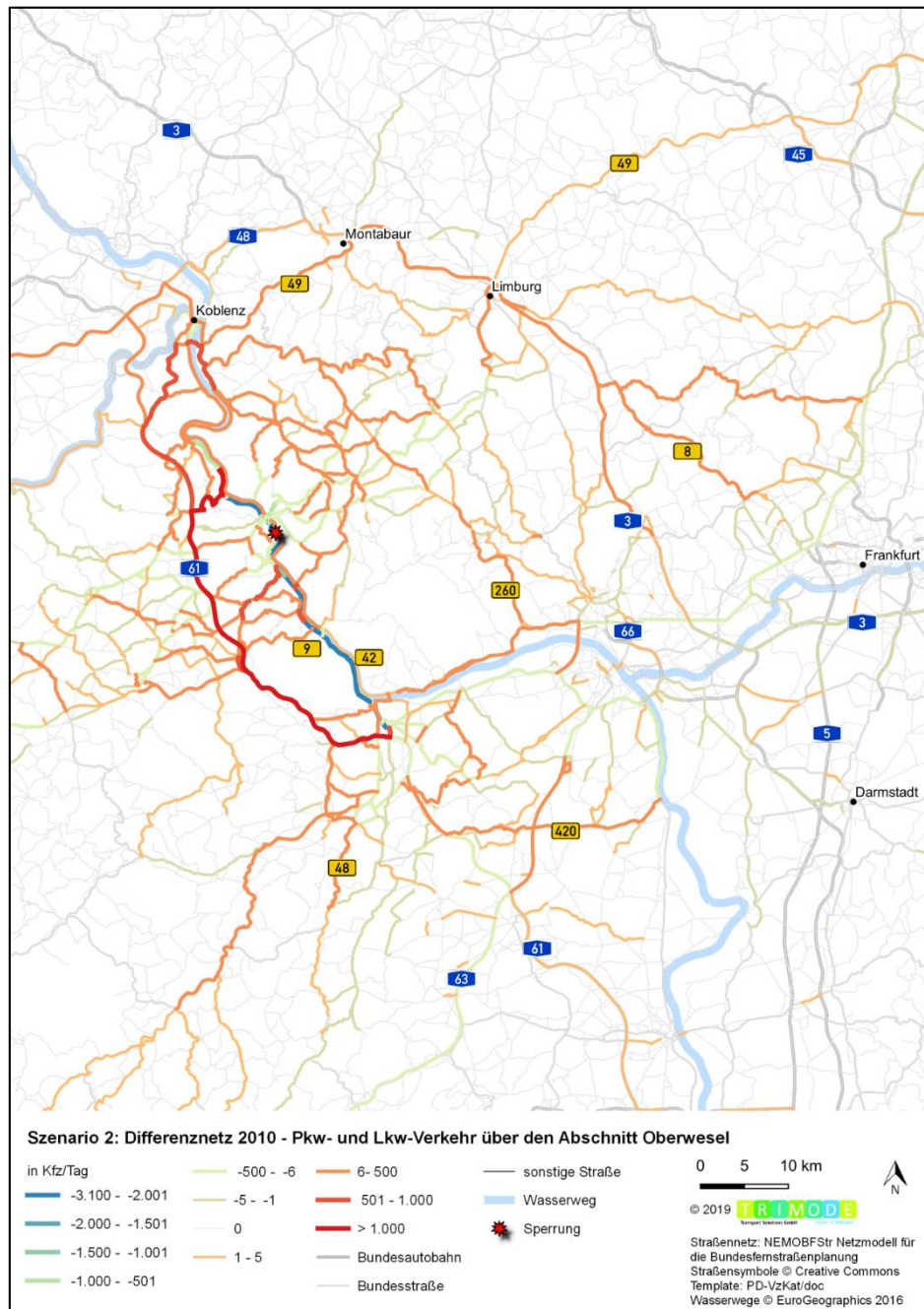


Abbildung 3-3: Großräumige Umleitungen der Fahrzeuge im Straßenverkehr bei einer Sperrung der B 9 und der Fähren im Raum Oberwesel in Kfz/Tag (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

3.4 Verkehrliche Wirkung der von der Sperrung betroffenen Schienenverkehre

3.4.1 Ausgangssituation

Auf der linken Rheinseite zwischen Koblenz und Mainz, die von der im Rahmen des Stresstestsszenarios „Hochwasser“ angenommenen Sperrung der Strecke 2630 betroffen ist, verkehren sowohl Fern- als auch Nahverkehrszüge im Personenverkehr. Zudem wird die Strecke in geringerem Maß als die rechte Rheinseite durch den Schienengüterverkehr genutzt.

Schienerpersonenfernverkehr: Im Fernverkehr wird die linke Rheinseite von EC-Verbindungen zwischen Nord- und Westdeutschland und der Schweiz bzw. Österreich, von einer ICE-Verbindung zwischen Nord- und Westdeutschland und München bzw. Wien und einer IC-Verbindung zwischen nordwestlichen und südlichen Relationen frequentiert. Alle Züge laufen Koblenz und Mainz an, einige EC-Züge auch Bingen. Insgesamt verkehren zwischen Koblenz und Mainz 52 Fernverkehrszüge, die ein Passagieraufkommen von rd. 4,4 Mio. Personen im Jahr 2010 bzw. 12.131 Personen pro Tag befördern.

Schienerpersonennahverkehr: Die Verkehrsprognose 2010 weist auf der linken Rheinseite zwischen Koblenz und Bingen 26 Zugpaare pro Tag im Schienenpersonennahverkehr aus. Hierbei handelt es sich um die zweistündig fahrenden Linien RE 17 zwischen Koblenz und Kaiserslautern und RE 2 zwischen Koblenz und Frankfurt am Main sowie um die im Stundentakt verkehrende RB 26 zwischen Köln und Mainz. Mit diesen Zügen wird ein Verkehrsaufkommen von rd. 480.000 Passagieren im Jahr bzw. 1.305 Passagieren pro Tag bewältigt.

Schiengüterverkehr: Da der linksrheinische Streckenabschnitt stärker von Personenverkehrszügen frequentiert ist als der rechtsrheinische, sind von der Sperrung der Strecke 2630 weniger Güterverkehrszüge betroffen als auf dem rechtsrheinischen Abschnitt. Insgesamt sind es in 2010 52 Züge pro Tag (überwiegend Nord-Süd-gehender Verkehr zwischen den Westhäfen und dem Rhein-Ruhrgebiet sowie Süddeutschland und dem angrenzenden Ausland; vgl. Abbildung 3-4).

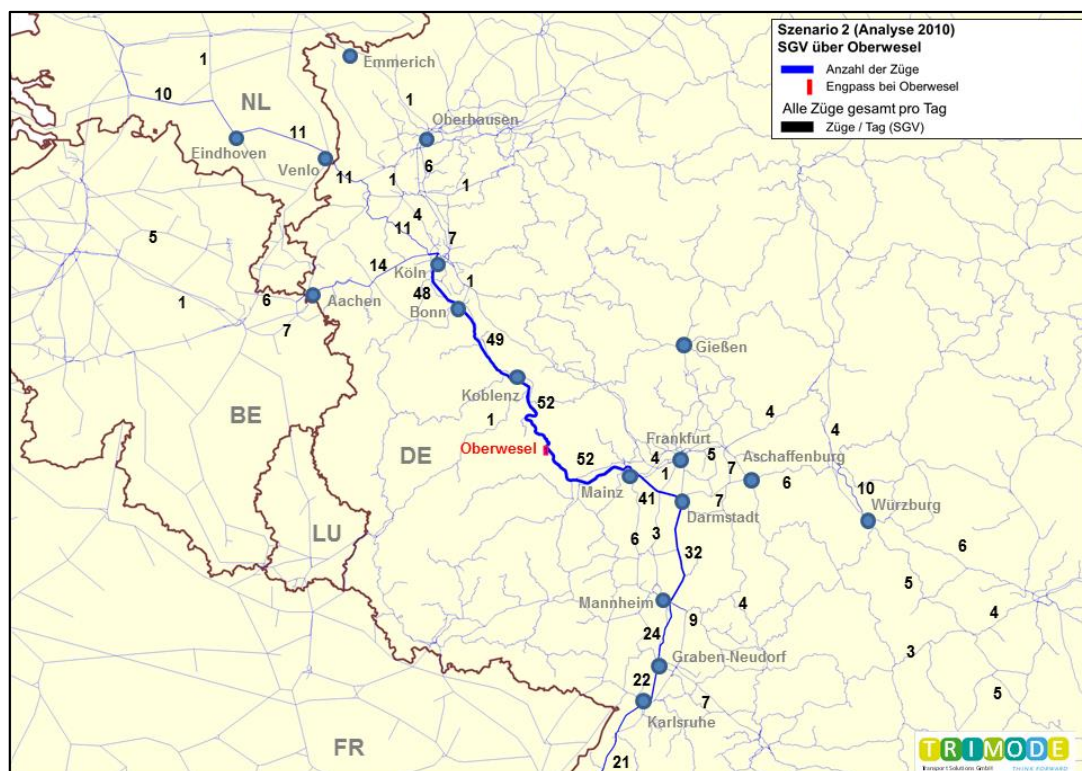


Abbildung 3-4: Verlauf der SGV-Züge über Oberwesel in Zügen/Tag (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Rund 50 % der betroffenen Züge stehen mit den Westhäfen und insbesondere dem Seehafenhinterlandverkehr in Verbindung, der übrige Teil des Zugverkehrs steht mit der Industrie im Rheinland zwischen Duisburg und Köln in Beziehung. Hierbei handelt es sich zu einem großen Teil um Kombinierte Verkehre, aber auch um Verkehre der hier angesiedelten Stahl-, Chemie-, Bergbau- und Automobilindustrie. Auf der anderen Seite gehen knapp 60 % der Züge (32 Stück) nach Mannheim und in südlich davon gelegene Länder, wie die Schweiz und Italien. 10 Züge (bzw. rd. 20 %) laufen südlich von Würzburg bis nach München weiter und der Rest verbleibt im Rhein-Main-Gebiet.

Über den Streckenabschnitt werden im Jahr 2010 rd. 10,1 Mio. Tonnen Güter per Bahn im Jahr transportiert bzw. rd. 36.000 t/Tag. Bei rd. 50 % davon handelt es sich um unbekannte Güter, die weitgehend im kombinierten Verkehr befördert werden. Bedeutende Arten von Gütern, die linksrheinisch in 2010 befördert werden, sind chemische Erzeugnisse, Stahlprodukte, Steinkohle sowie Baustoffe (siehe Anlage 1).

3.4.2 Auswirkungen auf den Schienenverkehr im Analysejahr 2010

Schienepersonenfernverkehr: Eine hochwasserbedingte Sperrung der Strecke zwischen Oberwesel und Bacharach würde es erforderlich machen, dass die hier eingesetzten 52 Züge über die rechtsrheinische Rheinstrecke geführt werden. Dies ist auch bei Sperrungen in der Vergangenheit regelmäßige Praxis gewesen. Die Strecke zwischen Koblenz und Mainz ist rechtsrheinisch lediglich 5 km länger. Da die Strecke allerdings über schlechtere Fahrbedingungen (niedrige Maximalgeschwindigkeit) verfügt und als Güterverkehrsstrecke ausgelegt ist, dauert die Fahrt zwischen den beiden Halten aus vergangenen Erfahrungen knapp 25 Minuten länger³⁶.

Insgesamt würde sich die Gesamtfahrzeit aller betroffenen Passagiere durch die Sperrung um rd. 303.000 Minuten bzw. rd. 5.051 Stunden pro Tag erhöhen. Der dadurch entstehende gesamtwirtschaftliche Schaden aus entstandenen Erreichbarkeitsnachteilen liegt bei rd. 126.365 € pro Tag³⁷. Darüber hinaus sind die Zugkosten für die um 5 km bzw. 25 Minuten längere Fahrt zu berücksichtigen. Ausgehend von den Kostenansätzen der BVWP entstehen hier für die 52 Zugfahrten zusätzliche Tagesbelastungen von rd. 3.900 €/Tag bzw. von rd. 82.000 € für die gesamte Sperrzeit. Bei 21 Sperrtagen ergibt sich somit ein Gesamtschaden aus Erreichbarkeitsnachteilen im Personenfernverkehr sowie zusätzlichen Zugförderkosten von insgesamt 2,7 Mio. €.

Schienepersonennahverkehr: Im Falle einer Streckensperrung der 7 km langen Strecke zwischen Oberwesel und Bacharach gehen wir von der Errichtung eines Schienenpersonenersatzverkehrs zwischen den beiden Orten aus. Richtungswechsel können an beiden Orten umgesetzt werden; Oberwesel ist gemäß Szenariendefinition von St. Goar aus erreichbar. Da allerdings der 7 km lange Abschnitt auf der B 9 ebenfalls teilweise gesperrt ist, muss der Schienenpersonenersatzverkehr die 10 km lange Ausweichstrecke über Langscheid und Henschhausen zurücklegen. Hierfür wird von einem Zeitaufwand von maximal 30 Minuten ausgegangen. Dies sind knapp 25 Minuten mehr als auf der Schiene (inkl. der Fahrzeit von 5 Minuten). Darüber hinaus sind für den Ein- und Ausstieg rd. 20 Minuten zusätzlich einzuplanen, sodass von einem Mindestmehraufwand von rd. 45 Minuten im Schienenpersonenersatzverkehr auszugehen ist. Es wird angenommen, dass der Zugverkehr zwischen Koblenz und Oberwesel sowie zwischen Bacharach und Mainz problemlos funktioniert, gut getaktet ist und insbesondere in Spitzenzeiten ausreichend Busse zur Verfügung stehen. Gelenkbusse im Nahverkehr können zwischen 100 und 150 Passagiere befördern, sodass zwei bzw. drei Busse und in Spitzenzeiten maximal vier bis fünf Busse zwischen den beiden Punkten eingesetzt werden müssen.³⁸

³⁶ Modellrechnungen weisen eine um 15 bis 20 Minuten längere Fahrzeit aus. In der Realität treten jedoch längere Zugfolgeverspätungen auf, die hier in der Fahrzeit mitberücksichtigt wurden.

³⁷ Hierbei wird aus den Arbeiten zur BVWP im Fernverkehr von einem durchschnittlichen Wertansatz von ca. 25 €/h für den Zeitverlust ausgegangen.

³⁸ Ausgehend vom Verkehrsaufkommen und der Verbindung sind zwei Busse für einen stündlichen Dienst ausreichend. Da jedoch keine zeitliche Verteilung des Personenverkehrsaufkommens vorliegt, gehen wir sicherheitshalber in den Morgen- und Abendstunden von vier Fahrzeugen sowie einem weiteren Fahrzeug für das Auffangen von Verspätungen aus. Das Angebot dürfte überdimensioniert sein und kann als Maximaleffekt angesehen werden.

Insgesamt würde sich die Gesamtfahrzeit aller Passagiere durch die Sperrung um rd. 58.720 Minuten bzw. rd. 979 Stunden erhöhen. Der dadurch entstehende gesamtwirtschaftliche Schaden aus entstandenen Erreichbarkeitsnachteilen liegt bei rd. 7.830 € pro Tag³⁹. Darüber hinaus sind die Betriebskosten der Busse pro Tag miteinzubeziehen. Unter der Annahme, dass aus Sicherheitsgründen fünf Busse pro Tag einzuplanen sind und für jeden Bus Kosten von rd. 800⁴⁰ € Tag entstehen, ist von weiteren 4.000 € Tageskosten auszugehen. Im Schienenpersonenverkehr entstehen somit zusätzliche Gesamtkosten von rd. 11.830 € je gesperrtem Verkehrstag. Bei 21 Sperrtagen ergibt dies einen Schaden aus Erreichbarkeitsnachteilen und Zusatzkosten im Personenverkehr von 0,25 Mio. €.

Schiengüterverkehr: Die Sperrung im Schienengüterverkehr führt im Wesentlichen zu einem Wechsel des Zugverkehrs von der linksrheinischen auf die rechtsrheinische Strecke (vgl. Abbildung 3-5 und Abbildung 3-6). Die Strecke ist als Güterverkehrsstrecke ausgewiesen und aus Sicht des Güterverkehrs qualitativ gleichwertig. Im Normalfall wird die Strecke neben dem Güterverkehr nur noch vom Personennahverkehr genutzt, muss allerdings im Sperrfall auch die 52 Personenfernverkehrszüge zwischen Koblenz und Wiesbaden aufnehmen. In der Folge können nicht alle Güterzüge auf den rechtsrheinischen Abschnitt wechseln, sondern Verkehre werden teilweise auch auf andere Strecken verdrängt. So nutzen Verkehre aus dem Norden in Richtung Süden die Ruhr-Sieg-Strecke und Rhein-Sieg-Strecke als Alternative.

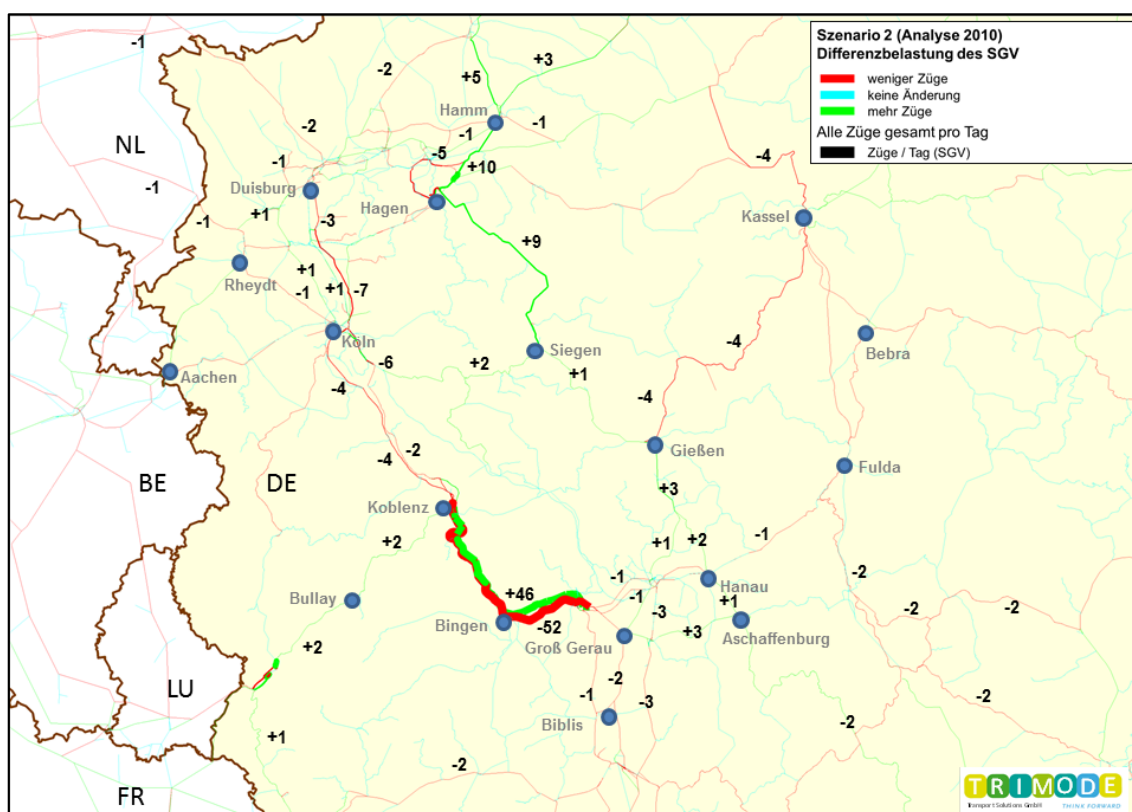


Abbildung 3-5: Veränderung der Zugläufe im SGV in Zügen/Tag im Falle einer Sperrung bei Oberwesel (Analyse 2010); Quelle: TTSTRIMODE Transport Solutions GmbH.

³⁹ Hierbei wird aus den Arbeiten zur BVWP von einem durchschnittlichen Wertansatz von ca. 8 €/h für den Zeitverlust ausgegangen.

⁴⁰ Die Kostensätze für einen Niederflerbus wurden dem Lastauto Omnibus Katalog des Jahres 2016 entnommen. Für die Personalkosten wurde von einem monatlichen Bruttolohn von 2.245 € und einen Einsatzplanfaktor von 75% ausgegangen. Die resultierenden Kosten von 770 €/Tag und Bus (bei 300 Einsatztagen) wurden auf 800 €/Tag aufgerundet.

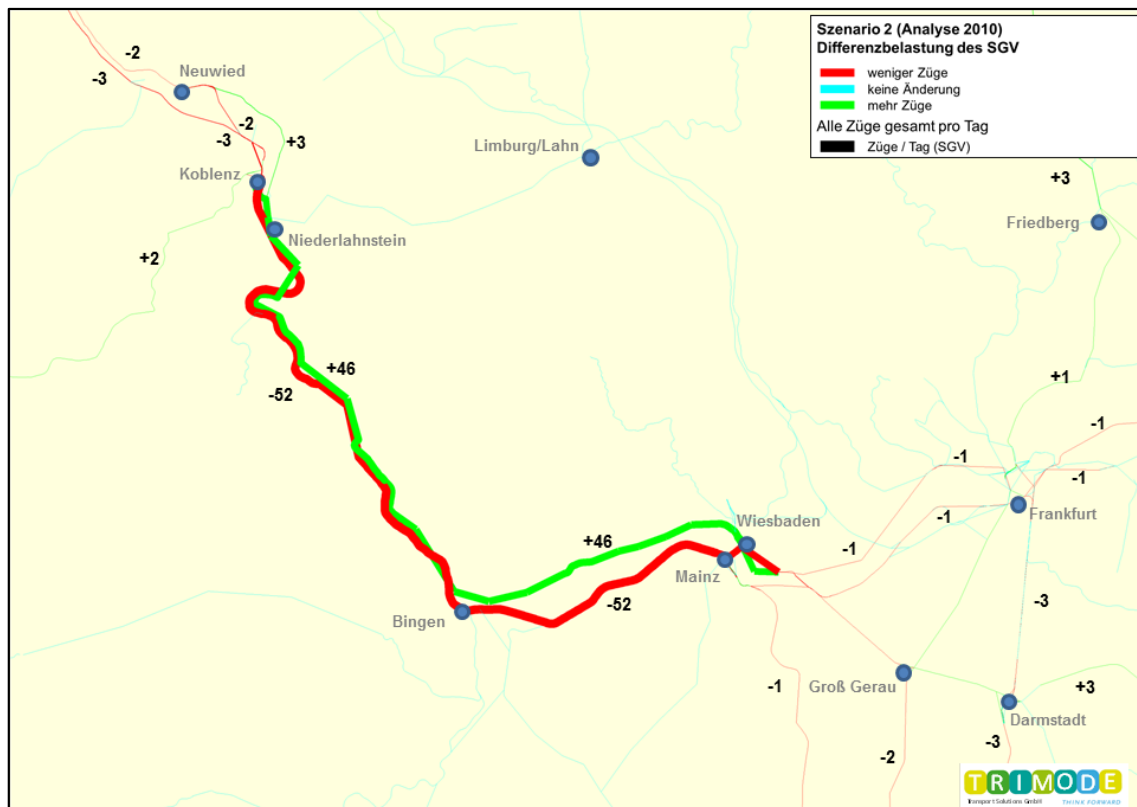


Abbildung 3-6: Veränderung der Zugläufe im SGV in Zügen/Tag im Falle einer Sperrung bei Oberwesel (Analyse 2010) im Abschnitt zwischen Koblenz und Mainz; Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Diese Verschiebung der Verkehre auf die rechtsrheinische Strecke sowie die anderen Streckenbereiche führt zu einer Vollauslastung der Strecke zwischen Koblenz und Wiesbaden und im Abschnitt zwischen Wiesbaden und Mainz-Gustavsburg zu einer Überlastungssituation (Streckenauslastung $> 120\%$ über den Tag; vgl. Abbildung 3-7). Aufgrund des höheren Verkehrsaufkommens und der hohen Streckenauslastung erhöhen sich die Zugfolgeverspätungen, was insgesamt zu längeren Fahrzeiten führt. Die Verschärfung der Kapazitätssituation verbunden mit den höheren Zugfolgeverspätungen führt dazu, dass nicht alle Züge umgesetzt werden können. Insgesamt handelt es sich in der Situation des Jahres 2010 um 5 bis 6 Züge, die im Schienengüterverkehr nicht mehr fahrbar sind⁴¹. Dabei handelt es sich um Züge, die im Wesentlichen zwischen dem Rheinland und Süddeutschland verlaufen (siehe Abbildung 3-8).

Die aus Kapazitätsgründen nicht mehr umsetzbaren Züge führen zu einem täglichen Ladungsverlust von rd. 4.000 Tonnen per Bahn, der hochgerechnet auf das gesamte Jahr einem Aufkommen von rd. 1,1 Mio. t entsprechen würde. Für den Zeitraum von 21 Sperrtagen (dies entspricht 18 Verkehrstagen; siehe Tabelle 2-9) sind es knapp 71.600 t, die nicht mehr per Schiene befördert werden können. Die regionalen Schwerpunkte der auf der Schiene nicht realisierbaren Verkehre liegen in Passau, Bottrop, Amsterdam, Esslingen, Karlsruhe und dem Erftkreis (vgl. Abbildung 3-9).

Von den Kapazitätsengpässen sind in 2010 ausschließlich konventionelle Güter betroffen (vgl. Anlage 2). Bei den nicht mehr über die Schiene realisierbaren Verkehren handelt es sich vor allem um landwirtschaftliche Erzeugnisse (Verkehre zwischen Passau und dem Rhein-Ruhrgebiet), Steinkohle (Verkehre zwischen Amsterdam und Plochingen) sowie um Eisen und Stahlprodukte (Verkehre zwischen Saarbrücken und Italien bzw. zwischen Duisburg und Trier). Auf diese drei Gütergruppen konzentrieren sich rd. 53 % des auf der Schiene nicht mehr fahrbaren Verkehrs. Weitere Gütergruppen mit hohem Aufkommen, die verlagert

⁴¹ Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Abfahrtspegel im Schienengüterverkehr nicht verändert werden. Es wird also nicht geprüft, inwiefern durch eine Veränderung der Abfahrtszeiten die verkehrliche Situation und Kapazitätsengpässe entzerrt werden können. Dies gilt auch für die folgenden Szenariorechnungen.

werden müssen, kommen aus dem Chemiesektor (inkl. Düngemittel) und dem Recyclingbereich. Über diese sechs Gütergruppen werden rd. 75 % der verdrängten Verkehre erfasst.

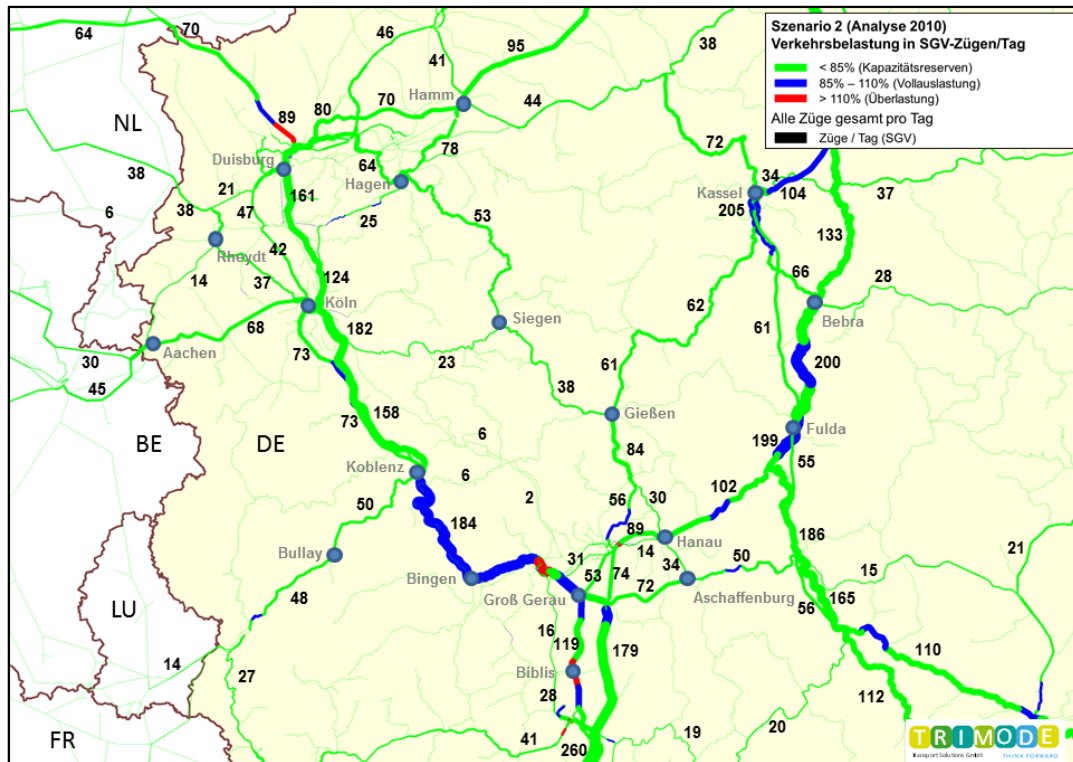


Abbildung 3-7: SGV-Belastung zwischen Emmerich und Mannheim im Falle einer Sperrung bei Oberwesel (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

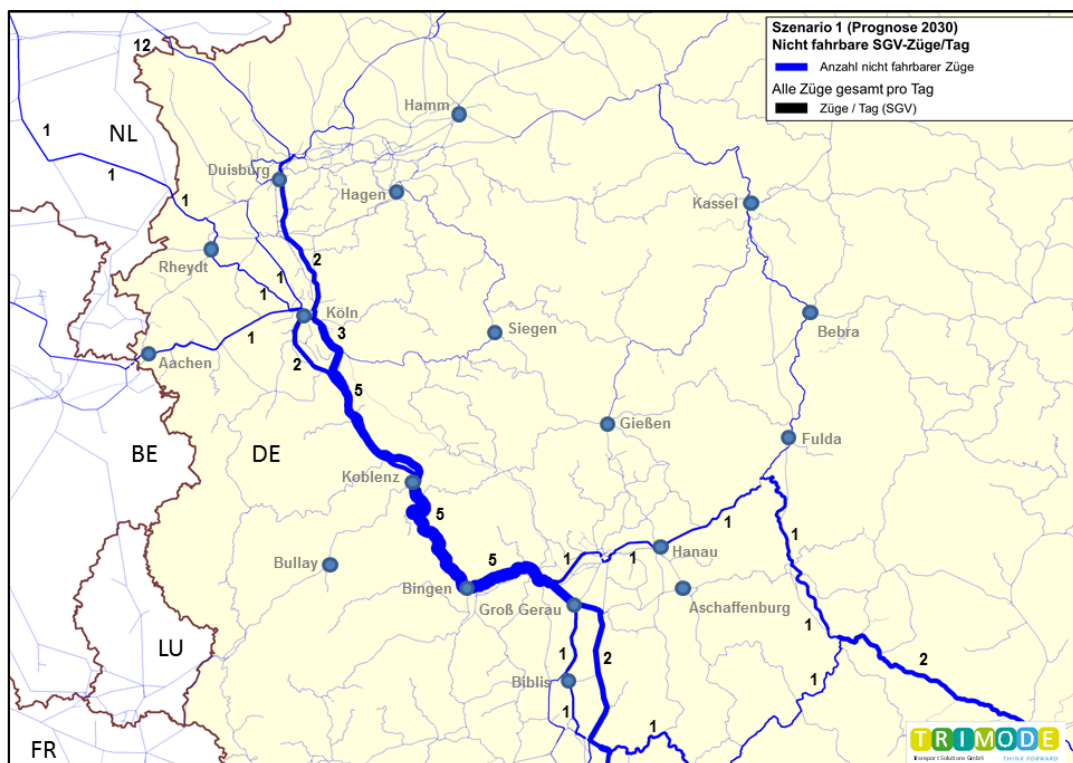


Abbildung 3-8: Nicht umsetzbare SGV-Züge pro Tag im Falle einer Sperrung bei Oberwesel (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH-

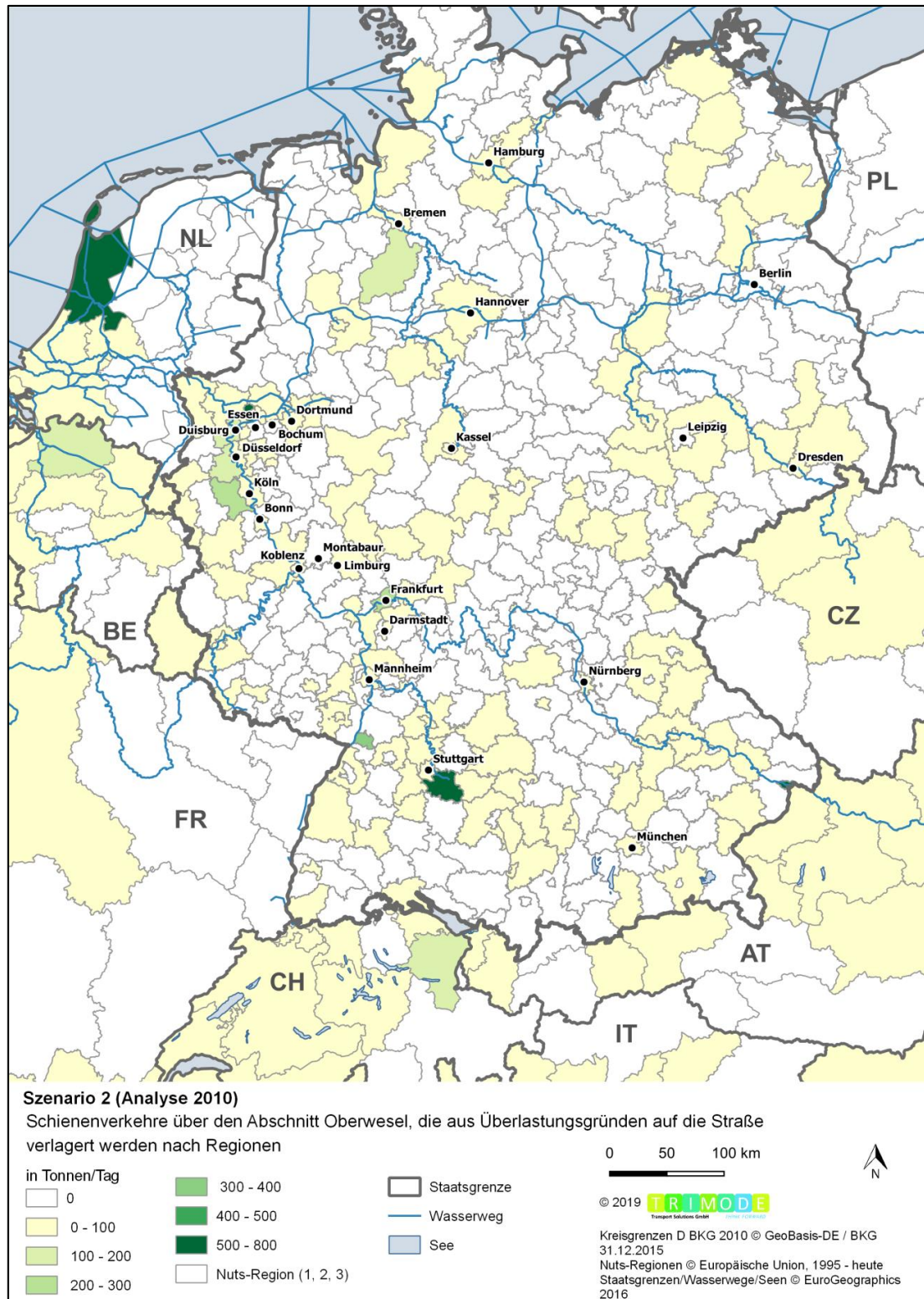


Abbildung 3-9: Regionale Verteilung der im Falle einer Sperrung bei Oberwesel auf der Schiene nicht realisierbaren Verkehre in Tonnen pro Tag (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Dieses Aufkommen würde sich im Normalfall auf Lkw und Binnenschiff verteilen. Da der Binnenschiffahrtsweg über den Rhein allerdings auch gesperrt ist, müsste das Aufkommen alleine vom Lkw-Verkehr bedient werden. Dies ist bei den meisten Gütern weitgehend unproblematisch. Die Versorgung von Kohlekraftwerken, Tanklagern und Stahlunternehmen mit Kohle, Koks, Mineralölprodukten und Eisenerz erscheint jedoch per Lkw sowohl vor dem Hintergrund der damit verbundenen Transportkosten als auch der

notwendigen Verladegrößen fragwürdig. Auch angesichts der hohen Lagerkapazitäten von drei bis vier Wochen in diesen Bereichen würden die Unternehmen eher auf die vorhandenen Lagerkapazitäten zurückgreifen und auf eine Zwischenbelieferung per Lkw verzichten. Daher gehen wir für die weiteren Rechnungen davon aus, dass die betroffenen Unternehmen innerhalb der Hochwasserphase auf eine Belieferung verzichten und ihre Lager nach der Hochwasserphase wieder auffüllen. Die dann noch per Lkw zu befördern den Bahnverkehre würden sich in diesem Fall auf rd. 3.000 t pro Tag bzw. auf insgesamt rd. 54.000 t während der Hochwasserphase belaufen (siehe Anlage 2).

Veränderung der Verkehrssituation auf der Schiene: Da aufgrund der Kapazitätsbeschränkungen im Schienennetz nicht alle vom Stresstestszenario „Hochwasser“ betroffenen Schienenverkehre umgesetzt werden können, nehmen insgesamt gesehen sowohl die Transportzeiten auf der Schiene (-28 Stunden/Tag) als auch die Transportentfernungen (- 2.874 Zug-km/Tag) gegenüber der Situation ohne Sperrung ab (vgl. Tabelle 3-1). Dadurch mindern sich die schienenseitigen Kosten durch den Rückgang des Verkehrs auf den betroffenen Strecken um rd. 63.000 €/Tag bzw. um rd. 21 € pro Tonne⁴².

Tabelle 3-1: Veränderung der Verkehrssituation auf der Schiene (Analyse 2010).

Position	Ausgangssituation	Stresstestzenario	Differenz
Züge pro Tag	3.584	3.578	- 6
Tonnen pro Tag	1.268.360	1.260.724	-7.636
Zug-km pro Tag	1.069.132	1.066.258	-2.874
– davon Zug-km Diesel pro Tag	26.301	25.931	-371
– davon Zug-km Elektro pro Tag	1.042.830	1.040.327	-2.503
Transportzeit in Stunden pro Tag	18.479	18.451	-28

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

3.4.3 Verkehrsverlagerung auf die Straße im Analysejahr 2010

Die Verlagerung von täglich rd. 3.000 t an Schienenverkehren auf den Lkw führt zu einer Mehrbelastung auf der Straße von knapp 230 Lkw pro Verkehrstag (16 Verkehrstage, siehe Tabelle 2-9), die die Straße weder erheblich mehr belasten noch an die Kapazitätsgrenze bringen. Die überwiegende Zahl der verlagerten Lkw-Verkehre verläuft entlang der BAB 45, der BAB 3 und der BAB 61 (Abbildung 3-10). Ein Teil der Verkehre läuft allerdings auch auf Auslandsstrecken. Hierbei werden insgesamt 147.066 Lkw-km zurückgelegt. Im Durchschnitt werden bei jeder Lkw-Fahrt 640 km zurückgelegt. Die dadurch entstehen Kosten belaufen sich auf knapp 178.000 €/Umfahrt bzw. 775 €/Lkw-Fahrt.

3.5 Verkehrliche Wirkung der von der Sperrung betroffenen Wasserstraßenverkehre

3.5.1 Ausgangssituation

Über den vom Hochwasser betroffenen Mittelrheinabschnitt in Oberwesel werden rd. 61 Mio. t Güter im gesamten Jahr bewegt. Zu rd. 75 % handelt es sich dabei um Mineralölprodukte, chemische Produkte, Steinkohle, landwirtschaftliche Erzeugnisse, Recyclingprodukte, Steine, Erden und Futtermittel (vgl. Anlage 3). Rund 75 % des über den betrachteten Abschnitt gehenden Binnenschiffsverkehrs wird mit sehr großen

⁴² Hierbei handelt es sich um die reinen Transportkosten, bestehend aus Zugbildungs-, Vorhalte-, Betriebs-, Personal- und Trassenkosten.

Schiffen über 1.500 t Tragfähigkeit umgesetzt (vgl. Abbildung 3-11). Die regionale Verteilung der Binnenschiffsverkehre ist in Abbildung 3-12 illustriert.



Abbildung 3-10: Routen der von der Schiene auf die Straße verlagerten Verkehre (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Hochwasser- und Niedrigwasserereignisse sind regelmäßig vorkommende Ereignisse für den Verkehrsträger Binnenschiff, auf die sich die entsprechenden Unternehmen i. d. R. eingestellt haben. Zur Vermeidung von gravierenden Produktionseinschränkungen oder einem Wechsel zu kostengünstigeren Verkehrsträgern werden von allen Unternehmen Lagerkapazitäten vorgehalten. Kohlekraftwerke, Tanklager und Stahlunternehmen, die sich regelmäßig mit Steinkohle, Koks, Mineralölprodukten und Eisenerz versorgen, verfügen über teilweise sehr hohe Lagerkapazitäten von drei bis vier Wochen. Somit können sie auch eine wie im Szenario skizzierte Hochwassersituation von 21 Tagen weitgehend überbrücken. Unternehmen in den anderen Produktionsbereichen verfügen in der Regel über geringere Lagerkapazitäten, mit denen Engpässe von ein bis zwei Wochen überbrückt werden können.

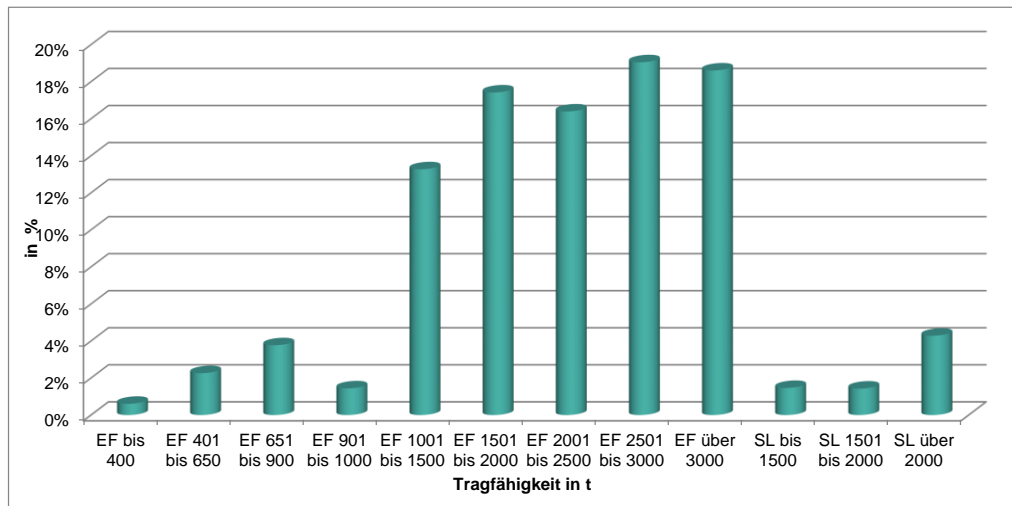


Abbildung 3-11: Flottenstruktur über den Mittelrheinabschnitt Oberwesel (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH nach Daten von PLANGIS.

3.5.2 Abwägung zwischen Verkehrsverlagerung und Ausschöpfung der Lagerkapazitäten in der Binnenschifffahrt

Eine Hochwasserperiode von 21 Tagen würde für Unternehmen mit geringen Lagerkapazitäten bedeuten, dass sie innerhalb des Sperrzeitraumes ihre Lager zur Aufrechterhaltung der Produktion mit neuer Ware auffüllen müssten. Diese Unternehmen würden dann prüfen, inwiefern eine alternative Belieferung der Güter per Schiene möglich ist. Verkehre, die auf der Schiene aus Kapazitätsgründen abgewiesen werden, werden auf die Straße verlagert. Über die Zeitdauer der Hochwassersperrung sind davon immerhin knapp 2,4 Mio. t (bzw. 134.000 t pro Verkehrstag) betroffen, die zu zwei Dritteln aus Chemikalien, Recyclingprodukten, landwirtschaftlichen Erzeugnissen, Baustoffen und Futtermitteln bestehen (vgl. Anlage 3).

Trotz der vorhandenen großen Lagerkapazitäten ist die Zwischenversorgung natürlich auch für die Betreiber von Kohlekraftwerken, Tanklagern und Stahlunternehmen eine Option, da hierdurch eventuell unerwartete Spitzen und damit verbundene Engpässe vermieden werden können. Die bei diesen Unternehmen massenhaft per Binnenschiff transportierten Mengen an Steinkohle, Koks, Eisenerz und Mineralölprodukte machen mit insgesamt rd. 21 Mio. t in 2010 knapp 35 % des Verkehrsaufkommens in der Binnenschifffahrt über den gesperrten Mittelrheinabschnitt aus. Eine Versorgung per Lkw ist bei diesen Verkehren weder aus Kostengründen noch aus logistischen Gründen (die erforderliche Anzahl von Fahrzeugen, die an den Umschlagsorten behandelt werden muss, würde zu betrieblichen Problemen führen) vorstellbar. Andererseits würde die Suche nach Trassen und Zügen im Schienenverkehr für diese Menge die Kapazitäten der Schiene überbeanspruchen. Über den rechtsrheinischen Abschnitt zwischen Koblenz und Wiesbaden werden auch im Normfall bereits 21 Mio. t in 2010 befördert. In Anbetracht dessen, dass auch die entsprechenden Schienenpersonenfern- und Schienengüterverkehre aus der gesperrten linksrheinischen Strecke auf den rechtsrheinischen Abschnitt umgeroutet werden müssen, gehen wir davon aus, dass die Unternehmen mit

hohen Lagerkapazitäten während des Hochwassers auf eine Zwischenversorgung der Lager verzichten und das Auffüllen derselben kostenneutral erst nach der Hochwasserperiode vornehmen. Rd. 65% der betroffenen Verkehre (rd. 134.000 t pro Verkehrstag) werden jedoch nach einer alternativen Verkehrsmöglichkeit suchen. Soweit sie aus Kapazitätsgründen nicht per Schiene transportiert werden können, werden sie per Lkw zu ihren Zielgebieten transportiert.

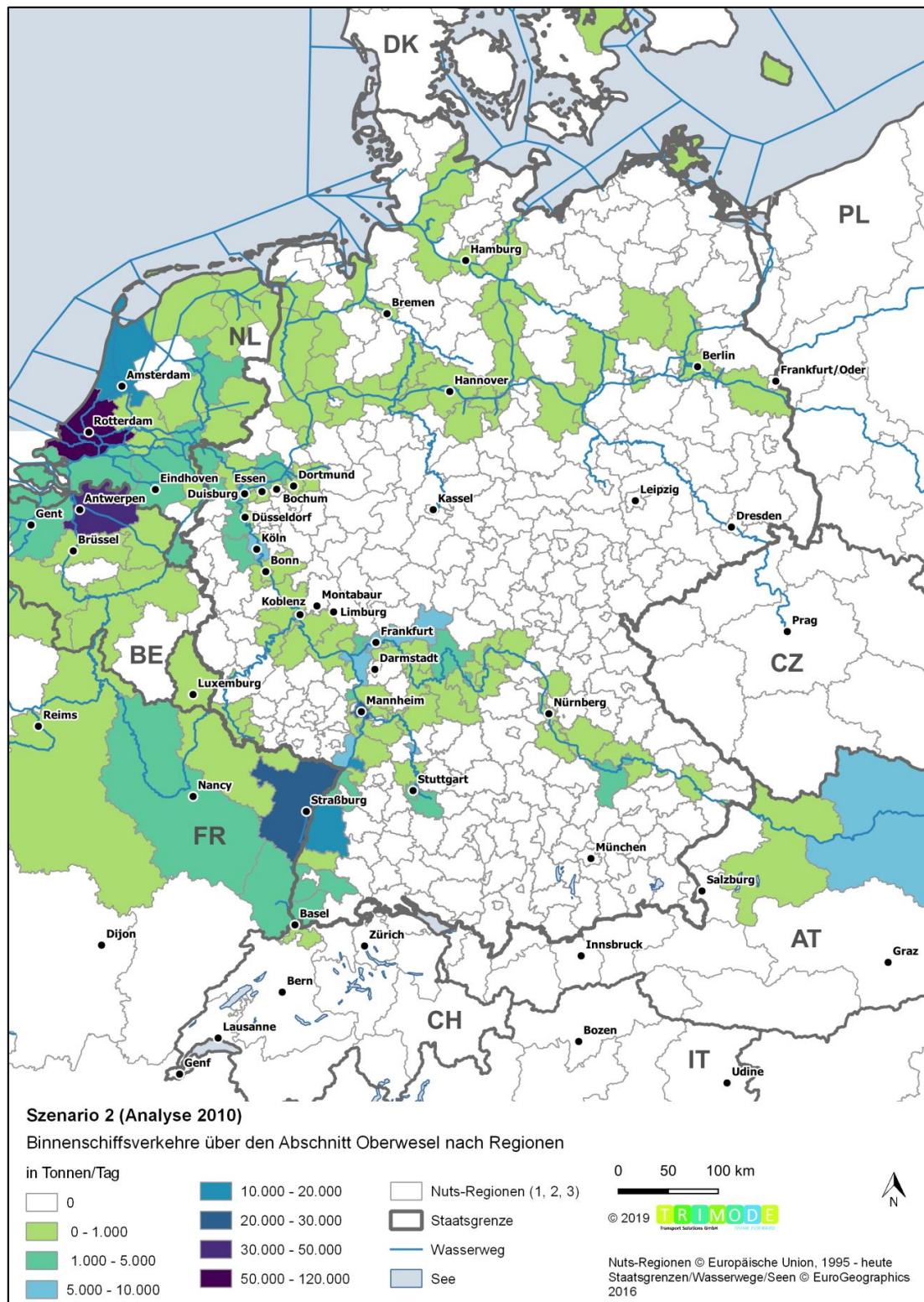


Abbildung 3-12: Binnenschiffsgüterverkehr über Oberwesel nach Regionen in Tonnen/Tag (Analyse 2010);
 Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Die Verlagerung dieser Mengen von der Binnenschifffahrt auf andere Verkehrsträger führt beim Binnenschiff zu einer Kostenentlastung von rd. 2,1 Mio. € pro Verkehrstag bzw. zu rd. 38 Mio. € über die gesamte Hochwassersperrung von 18 Verkehrstagen.

3.5.3 Verkehrsverlagerung vom Binnenschiff auf die Bahn im Analysejahr 2010

Die Hochwassersperrung des Mittelrheins bei Oberwesel führt dazu, dass rd. 134.000 t Binnenschiffsgüter nach geeigneten Trassen auf der Schiene nachfragen. Für die Bedienung dieser Menge ist eine Zuganzahl von knapp 144 beladenen Zügen⁴³ pro Tag bzw. von rd. 2.592 beladenen Zügen im gesamten Zeitraum erforderlich. Da wir davon ausgehen, dass diese Züge frühestens nach 10 Tagen bereitgestellt werden können, und wir aus Vergleichbarkeitsgründen mit den anderen Szenarien davon ausgehen, dass die benötigte Verkehrsmenge innerhalb der Ereignisdauer transportiert wird, sind inklusive der anfallenden Leerzüge in der Rückfahrt insgesamt 473 Züge pro Verkehrstag (9 Verkehrstage, siehe Tabelle 2-9) erforderlich. Je Zug werden durchschnittlich 567 Nettotonnen an Ladung befördert.

Diese Züge wurden in das Schienennetz des Jahres 2010 (inklusive der angenommenen Sperrung der Strecke zwischen Oberwesel und Bacharach) mit den bereits bestehenden Verkehren umgelegt. Hierbei wurde geprüft, ob die zusätzlich aus der Binnenschifffahrt entstehende Verlagerungsnachfrage von den vorhandenen Kapazitäten gedeckt werden kann. Abbildung 3-13 zeigt die Züge, die aus hochwasserbedingten Verlagerungen der Binnenschifffahrt entstehen und im Netz des Jahres 2010 bewältigt werden könnten. Im Ergebnis können nur 259 Züge/Tag bzw. rd. 55 % der gebildeten Züge mit einer Transportmenge von rd. 1,3 Mio. t (vgl. auch Anlage 4) umgesetzt werden. Hierbei handelt es sich neben Containergütern überwiegend um landwirtschaftliche Erzeugnisse, Chemierzeugnisse, Baustoffe, Recyclinggüter und Futtermittel.

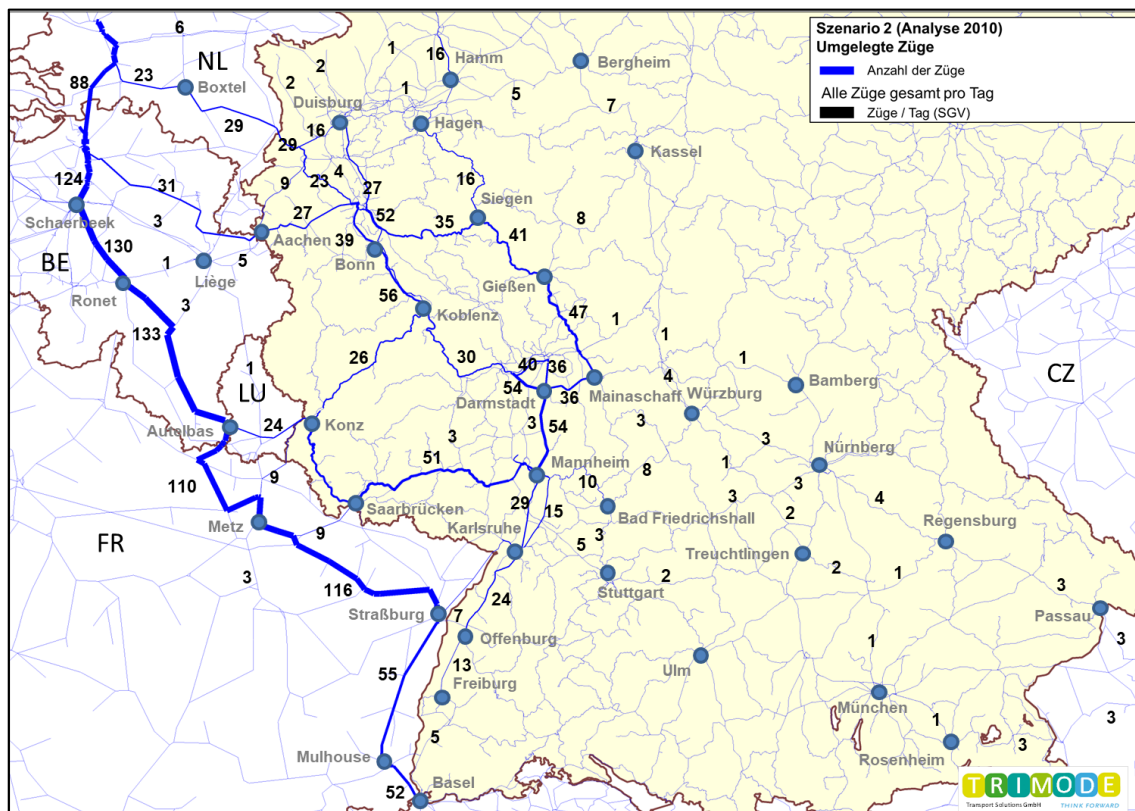


Abbildung 3-13: Routenverlauf der SGV-Züge aus Verlagerungen vom Binnenschiff auf die Schiene/Tag (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

⁴³ Bei der Zugbildung wurde die gütergruppenspezifisch maximal mögliche Beladung angenommen.

Der überwiegende Anteil der Verkehre bzw. rd. 130 Züge/Tag verkehrt über das Auslandsnetz zwischen der Schweiz und Belgien bzw. den Westhäfen⁴⁴ (vgl. Abbildung 3-13). Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um Transitverkehre durch Deutschland. Über den nördlichen Mittelrhein zwischen Bonn und Koblenz gehen zusätzliche 56 Züge pro Tag, über den südlichen rechtsrheinischen Abschnitt zwischen Koblenz und Wiesbaden gehen nur 30 Züge pro Tag. Darüber hinaus wird die Strecke zwischen Siegen und Aschaffenburg (41–47 Züge/Tag) sowie zwischen Ludwigshafen und Saarbrücken für großräumige Umfahrungen des Mittelrheintals (47 Züge/Tag) genutzt. In einigen Fällen, wie z. B. aus Nord- und Ostdeutschland in Richtung Rhein-Main-Gebiet, werden auch die Strecken zwischen Hannover und Hanau genutzt.

Die Aufnahme von hochwasserbedingten Verlagerungen von der Binnenschifffahrt in das Schienennetz in diesem Umfang führt zusammen mit der Sperrung des linksrheinischen Streckenabschnittes zu einer deutlichen Überlastung zwischen Koblenz und Mainz-Gustavsburg und weiter fortführend bis nach Ludwigshafen, die keine weiteren Verkehre mehr erlaubt (vgl. Abbildung 3-14).

Die Verlagerung der o. g. Binnenschiffsverkehre auf die Bahn ist mit Kosten von rd. 3,4 Mio. € pro Verkehrstag bzw. 25,1 €/t verbunden. Hierbei werden je Tag 177.000 Zugkilometer zurückgelegt. Über die gesamte Hochwassersperrdauer entstehen Kosten von rd. 30,2 Mio. €.

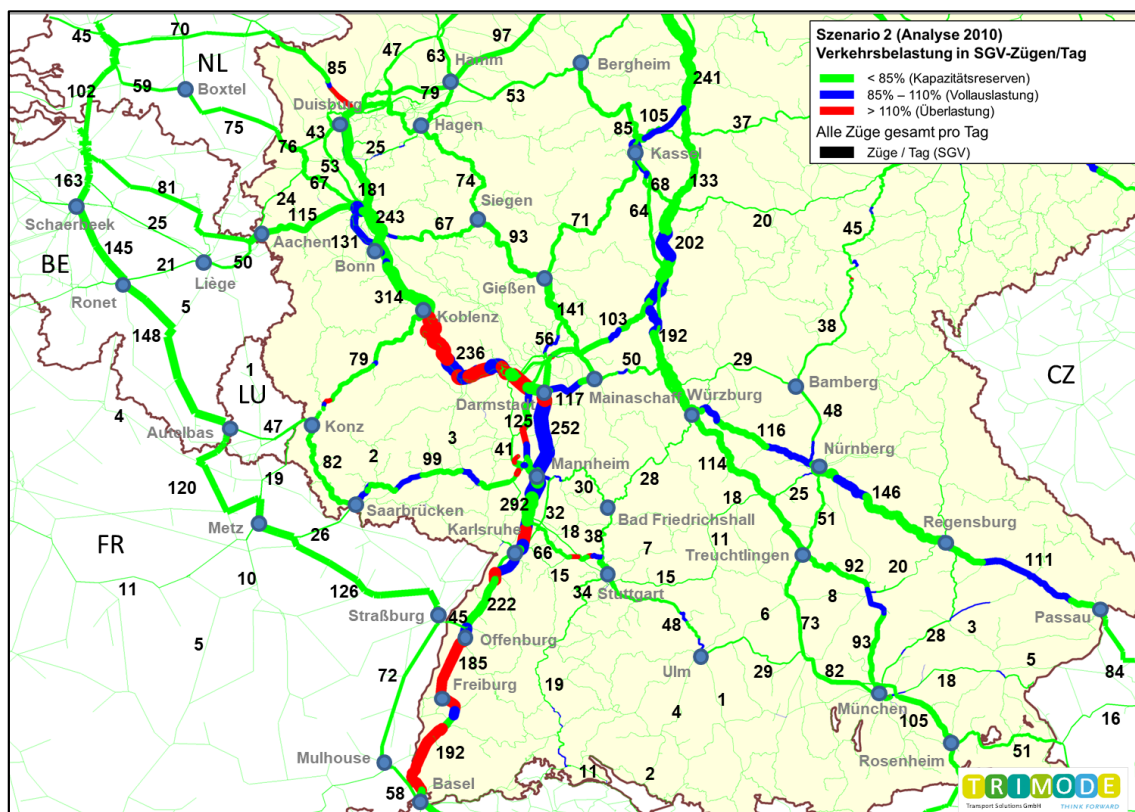


Abbildung 3-14: Verkehrsbelastung und Auslastung des Schienennetzes nach den Verlagerungen von Binnenschiffsverkehren auf die Schiene in Zügen/Tag (Analyse 2010); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

⁴⁴ Das starke Ausweichen auf die Auslandsstrecken ruft die Frage hervor, ob die hier genutzten Strecken die dafür erforderliche Kapazität haben, um diese zusätzlichen Verkehre aufzunehmen. Dies lässt sich in dieser Studie nicht gänzlich beantworten, die generelle Leistungsfähigkeit der Strecken kann jedoch aus vorliegender Erfahrung bejaht werden.

3.5.4 Verkehrsverlagerung vom Binnenschiff auf die Straße im Analysejahr 2010

Rd. 1,1 Mio. t bzw. rd. 47 % der aufgrund des Hochwassers nicht mehr per Binnenschiff verkehrenden Verkehrsmengen werden im Modellalgorithmus auf die Straße verlagert, da sie per Schiene nicht abgefahren werden können. Hierbei handelt es sich zu 60 % um Chemie-, landwirtschaftliche Erzeugnisse und Baustoffe (vgl. Anlage 4). Dementsprechend müssen pro Verkehrstag rd. 71.000 t zusätzlich auf der Straße bewegt werden. Die Verlagerung dieser Menge auf den Lkw führt zu einem Lkw-Mehrverkehrsaufkommen von 4.022 Lkw pro Verkehrstag bzw. 2,1 Mio. Lkw-km bzw. 532 km je Lkw-Fahrt. Die damit verbundenen Kosten belaufen sich auf rd. 2,6 Mio. € pro Tag bzw. 657 €/Lkw-Fahrt.



Abbildung 3-15: Während der Sperrzeit vom Binnenschiff auf den Lkw verlagerte Verkehre (Analyse 2010);
Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Abbildung 3-15 zeigt die Routen und Wege, die durch das von der Binnenschifffahrt auf die Straße verlagerte Aufkommen belastet werden. Auch wenn ein großer Teil der Verkehre über das ausländische Verkehrsnetz zwischen den Westhäfen und der Schweiz sowie Frankreich geführt wird, werden auch die BAB 61 und die BAB 3 zusätzlich belastet. Das zusätzliche Aufkommen von rd. 4.000 Lkw pro Tag führt jedoch zu keiner nennenswerten Auslastungsveränderung auf den betroffenen Wegen (Abbildung 3-16).

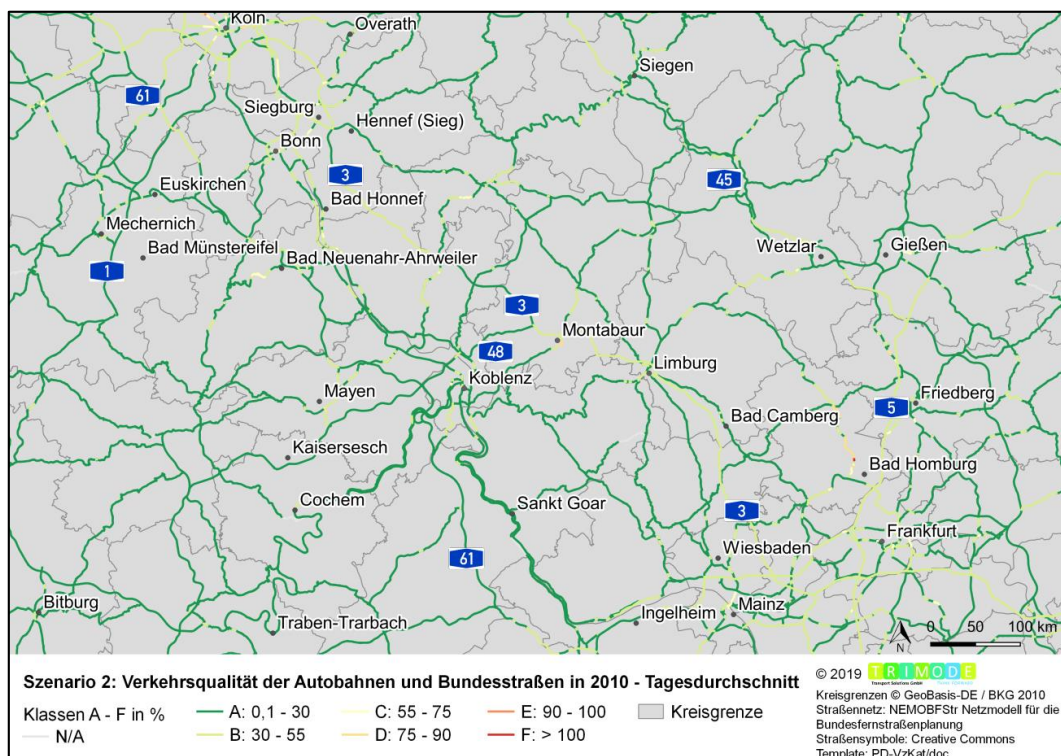


Abbildung 3-16: Verkehrsqualität im Mittelrheintal im Tagesdurchschnitt (Analyse 2010; nur Bundesautobahnen und Bundesstraßen); Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

3.6 Aggregierte Bewertung der verkehrlichen Wirkungen und Kosten

Die hochwasserbedingte Sperrung bei Oberwesel führt nicht nur zu einer Sperrung der Binnenschifffahrtsstraße, sondern auch zu einem Ausfall der B9 zwischen Oberwesel und Bacharach, der Fähren zwischen St. Goar und St. Goarshausen und zwischen Lorch und Niederheimbach, sowie des linksrheinischen Schienenstranges. Hiervon betroffen sind rd. 5.000 Fahrzeuge pro Tag im Straßenverkehr, jeweils 52 Fern- und Nahverkehrszüge bzw. rd. 50 Güterverkehrszüge pro Tag mit einem gesamten Güterverkehrsaufkommen von rd. 0,6 Mio. t während der Sperrzeit sowie 2,4 Mio. t an Binnenschiffsgütern.

Während der direkt betroffene Straßenverkehr nahezu problemlos auf andere Routen verlagert werden kann, ist die Situation bei der Schiene deutlich komplexer. In der durchgeführten Verkehrsstrommodellierung kann der Schienenpersonennahverkehr durch einen Schienenersatzverkehr aufrechterhalten werden. Züge im Personenfern- und Güterverkehr werden auf andere Routen (im Wesentlichen über den rechtsrheinischen Schienenweg) umgeleitet. Die vorzugsweise Verlagerung von Binnenschiffsverkehren auf die Schiene belastet die Schieneninfrastruktur zusätzlich. Trotz der zunehmenden Überlastung der Rheinstraßen können unter den getroffenen, in einigen Fällen in einigen Fällen datenbedingt noch unvollständigen und damit stark vereinfachenden Annahmen rd. 55 % des Binnenschiffsverkehrs auf die Schiene verlagert werden. Allerdings müssen rd. 1,2 Mio. t (über die gesamte Sperrzeit) auf die Straße ausweichen, was im Modell nicht zu nennenswerten Überlastungen der Infrastruktur im Mittelrheingebiet führt (vgl. Abbildung 3-16). Die praktische Umsetzbarkeit einer derart umfänglichen Verlagerung von der Wasserstraße auf die Straße ist jedoch kritisch zu hinterfragen.

Die durch die Verkehrsverlagerungen insgesamt entstehenden verkehrlichen Zusatzkosten über die Hochwassersperrzeit von 21 Tagen belaufen sich auf eine Höhe von rd. 39,9 Mio. € (siehe Tabelle 3-2). In Tabelle 3-2 werden die Kosten der Binnenschifffahrt, die ohne Hochwasser entstanden wären, aus Gründen der kaufmännischen Vorsicht zum Abzug gebracht. Dies ist prinzipiell richtig, da der Schaden des Extremszenarios sich aus den zusätzlichen Kosten gegenüber der Normalsituation ohne das Hochwasser ergeben würde. Dabei wird davon ausgegangen, dass die frei werdenden Verkehrsmittel (unabhängig vom Verkehrsträger) im sonstigen Markt eine alternative Beschäftigung finden. Dies kann bei den meisten betrachteten Stresstestszenarios aufgrund der Marktkomplexität und der geltenden Maxime, Überschätzungen zu vermeiden, als weitgehend richtig eingestuft werden. Im Hochwasserfall ist dies jedoch zu hinterfragen, da der Rheinverkehr das größte Marktsegment ist und die hier freiwerdende Anzahl an Schiffen am sonstigen Markt nur schwer eine anderweitige Beschäftigung, z. B. im Verkehr bis Köln oder im Rheindelta, finden wird. In diesem Fall wäre der Betrag von 48 Mio. €, der zum Abzug gebracht wird, ebenfalls als Kosten für den Leerstand von Binnenschiffen (entgangene Umsätze) anzusetzen und die Schadenshöhe würde sich um diesen Betrag auf insgesamt 88 Mio. € erhöhen.

Tabelle 3-2: Zusammenstellung der verkehrlichen Kosten (jeweils in € pro Tag, sowie aufsummiert über den gesamten Sperrzeitraum) des Stresstestszenarios Hochwasser für das Analysejahr 2010.

	1-2 Tag	3 - 10 Tag	11-21 Tag	Summe Sperrung
Kosten der Sperrung der linksrheinischen Strecke im Schienenpersonenverkehr				
▪ Schienenpersonenersatzverkehr	11.830 €	11.830 €	11.830 €	248.430 €
▪ Schienenpersonenfernverkehr	130.265 €	130.265 €	130.265 €	2.735.556 €
Kosten der Sperrung der linksrheinischen Strecke im Schienengüterverkehr				
▪ Verminderung der Bahn-Kosten	-62.742 €	-62.742 €	-62.742 €	-1.129.351 €
▪ Mehrkosten Straße	—	177.898 €	177.898 €	2.846.370 €
Kosten der Sperrung der B9 und der Fähren				
▪ Mehrkosten Straße Personenverkehr	18.000 €	18.000 €	18.000 €	378.000 €
▪ Mehrkosten Straße Güterverkehr	2.795 €	2.795 €	2.795 €	50.310 €
Eingesparte Binnenschifffahrtskosten				
▪ Verminderung Binnenschiff komb. Verkehr	-557.516 €	-557.516 €	-557.516 €	-10.035.288 €
▪ Verminderung Binnenschiff konventioneller Verkehr	-1.540.858 €	-1.540.858 €	-1.540.858 €	-27.735.449 €
Kosteneffekte aus Verlagerungen der Binnenschifffahrtskosten				
▪ Mehrkosten Bahn	—	—	3.358.273 €	30.224.459 €
▪ Mehrkosten Straße	—	2.643.759 €	2.643.759 €	42.300.142 €
Summe Kosten	-1.998.226 €	823.431 €	4.181.704 €	39.891.564 €

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Der im Rahmen des Stresstestszenarios „Hochwasser“ betroffene Verkehr kann bei einer Sperrung von drei Wochen in der modellhaft durchgeführten Netzumlegung von Güter- und Personenverkehrsströmen bewältigt werden. Wichtige Voraussetzungen dafür sind, dass

- Schienenverkehre über das ausländische Netz in Frankreich und Belgien geführt werden (hierzu liegen weder ausreichende Kapazitätsinformationen noch Angaben zu anderen Restriktionen (z. B. Lichtraumprofile, Achslasten etc.) vor)

- Verlader von Eisenerzen, Steinkohle und Mineralölen i. d. R. über ausreichende Lagerkapazitäten von bis zu vier Wochen verfügen und während der Hochwasserzeit keine Auffüllung der Läger erforderlich wurde. Hierbei handelt es sich um knapp ein Drittel des relevanten Binnenschiffsverkehrs über den Abschnitt.

Diese Voraussetzungen sind in der Praxis nicht als vollumfänglich erfüllt anzusehen, weshalb die mittels als Verkehrsstrommodellierung erzielten Ergebnisse als eher optimistisch einzustufen sind. Hochwasserdauern von über vier Wochen und (wahrscheinliche) Restriktionen im ausländischen Netz würden die Situation insbesondere bei den o. g. Massengütern deutlich verschlimmern, weil die hohen Mengen aus logistischen Gründen nicht per Lkw abgefahren werden können und die schienenseitigen Kapazitäten nicht ausreichen würden. Dies würde auf jeden Fall zu Produktionseinschränkungen in der Eisen- und Stahlindustrie führen. Um negative Folgen im Energiebereich zu vermeiden, müsste Elektrizität aus dem Ausland eingeführt werden, genauso wie die Versorgung der Bevölkerung und der Unternehmen mit Heizölen und Treibstoffen aus dem Ausland oder anderen Regionen erfolgen müsste.

3.7 Vergleich der Betrachtungsjahre 2010 und 2030

Von der hochwasserbedingten Sperrung sind im Jahr 2030 mehr Verkehre betroffen als in 2010 (vgl. Tabelle 3-3). Die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer sind ähnlich wie im Jahr 2010. Da die Schienenwege im Rheinbereich deutlich stärker überlastet und ausgelastet sind, als im Jahr 2010 müssen in der Verkehrsstrommodellierung mit rd. 1,6 Mio. t (über die gesamte Sperrzeit) auch mehr Güter auf die Straße ausweichen. Auch die Verkehre im Prognosenetz des Jahres 2030 können sowohl straßen- als auch schienenseitig, ähnlich wie im Verkehrszustand des Jahres 2010, auf andere Teile des Streckennetzes umgeroutet werden. Allerdings gelten auch hier die gleichen Einschränkungen. Die insgesamt mit den zahlreichen Ausweichreaktionen entstehenden verkehrlichen Zusatzkosten über die Hochwassersperrzeit von 21 Tagen belaufen sich auf eine Höhe von rd. 51,7 Mio. € (Tabelle 3-4) und somit auf knapp 12 Mio. € mehr als noch im Jahr 2010.

Tabelle 3-3: Betroffene Verkehre (Personen und Güter) auf Straße, Schiene und Wasserstraße in den Jahren 2010 und 2030.

	2010	2030
Straße – Fahrzeuge pro Tag		
▪ Nördlich der Sperrung	3.200	3.200
▪ Südlich der Sperrung	4.400	4.000
▪ Fähre in St. Goar	950	2.070
▪ Fähre in Lorch	322	809
Schiene		
▪ Personennahverkehrszüge (Anz. Züge/Tag)	52	78
▪ Personenfernverkehrszüge (Anz. Züge/Tag)	52	56
▪ Güterverkehrszüge (Anz. Züge/Tag)	52	119
▪ Güterverkehrsaufkommen (1.000 t p.a.)	36	87
Binnenschiff – Güteraufkommen (1.000 t/Tag)	134	176

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Tabelle 3-4: Zusammenstellung der verkehrlichen Kosten (Analyse 2030).

	1-2 Tag	3 - 10 Tag	11-21 Tag	Summe Sperrung
Kosten der Sperrung der linksrheinischen Strecke im Schienenpersonenverkehr				
▪ Schienenpersonenersatzverkehr	12.286 €	12.286 €	12.286 €	258.006 €
▪ Schienenpersonenfernverkehr	192.554 €	192.554 €	192.554 €	4.043.638 €
Kosten der Sperrung der linksrheinischen Strecke im Schienengüterverkehr				
▪ Verminderung der Bahn-Kosten	-291.991 €	-291.991 €	-291.991 €	-5.255.841 €
▪ Mehrkosten Straße	—	863.841 €	863.841 €	13.821.451 €
Kosten der Sperrung der B9 und der Fähren				
▪ Mehrkosten Straße Personenverkehr	26.852 €	26.852 €	26.852 €	563.892 €
▪ Mehrkosten Straße Güterverkehr	3.853 €	3.853 €	3.853 €	80.913 €
Eingesparte Binnenschifffahrtskosten				
▪ Verminderung Binnenschiff komb. Verkehr	-882.084 €	-882.084 €	-882.084 €	-15.877.504 €
▪ Verminderung Binnenschiff konventioneller Verkehr	-1.861.256 €	-1.861.256 €	-1.861.256 €	-33.502.602 €
Kosteneffekte aus Verlagerungen der Binnenschifffahrtskosten				
▪ Mehrkosten Bahn	—	—	3.875.676 €	34.881.081 €
▪ Mehrkosten Straße	—	3.292.189 €	3.292.189 €	52.675.024 €
Summe Kosten	-2.799.785 €	1.356.244 €	5.231.920 €	51.688.058 €

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

4 Integrierte Ergebnisdarstellung für alle fünf Stresstestszenarien






- Die Verkehre in den untersuchten Szenarien können in der Verkehrsstrommodellierung unter den getroffenen Annahmen trotz entstehender verkehrlicher Zusatzkosten weitgehend aufrechterhalten werden. Dazu werden Ausweichmöglichkeiten innerhalb der verkehrsträgerspezifischen Netze (bei der Straße und der Schiene) sowie Verlagerungen auf andere Verkehrsträger (Kapazitätsengpässen auf dem eigenen Netz) genutzt.
- Während auf der Straße im Tagesdurchschnitt ausreichende Kapazitäten zur Bewältigung der umgerouteten Verkehre vorhanden sind, reichen die Kapazitäten im gesamten Rheinkorridor auf der Schiene nicht aus, um alle Umroutungen aufzufangen (auch mit den deutlichen Erweiterungen der Infrastrukturkapazitäten zum Jahr 2030).
- Das Niedrigwasserszenario führt aufgrund der mit 180 angenommenen Tagen langen Ereignisdauer unter den fünf hier betrachteten Stresstestszenarien zu den – über die Gesamtdauer der Einschränkungen aggregiert – höchsten verkehrlichen Zusatzkosten (ca. 250-300 Mio. €).
- Im Vergleich aller fünf betrachteten Szenarien zeigt sich, dass die täglichen verkehrlichen Zusatzkosten beim Hochwasserszenario mit 1,9 bis 2,5 Mio. € pro Sperrtag am größten sind. Bei diesem Szenario sind alle drei Verkehrsträger betroffen.
- Werden durch noch länger anhaltende Extremwetterereignisse die Lagerkapazitäten ausgeschöpft, können weitere Reaktionen bis zu Produktionsdrosselungen oder -stilllegungen induziert werden (hier nicht erfasst).







Die in den Szenarien entstehenden verkehrlichen Wirkungen können der Tabelle 4-1 entnommen werden. Für alle Szenarien stehen die gleichen Daten und Analysen zur Verfügung, wie sie in Kapitel 3 für das Hochwasserszenario dargestellt wurden.

Die Szenarien führen zunächst alle zu Reaktionen innerhalb der Netze der betroffenen Verkehrsträger. Bei Sperrungen von Schiene und Straße sind dies zunächst Umroutungen auf andere Strecken innerhalb des Netzes, bei der Wasserstraße sind es, wenn möglich, Abladebeschränkungen verbunden mit höheren Kosten aufgrund niedrigerer Ladepartien. Während auf der Straße im Tagesdurchschnitt ausreichende Kapazitäten zur Bewältigung der umgerouteten Verkehre vorhanden sind, reichen die Kapazitäten (ausgedrückt in wirtschaftlich verfügbaren Trassen) im gesamten Rheinkorridor (inkl. der Nebenstrecken) auf der Schiene⁴⁵ nicht aus, um alle Umroutungen aufzufangen; dies gilt, trotz der erwarteten Kapazitätserweiterungen der Infrastruktur auch für das Netz des Jahres 2030. Aufgrund des höheren Verkehrsaufkommens fallen die mit den Blockaden und Extremereignissen verbundenen Wirkungen (Umroutungen, intermodale Verkehrsverlagerungen) in 2030 stärker aus als in 2010. Allerdings stehen in 2030 aufgrund der geplanten Infrastrukturerweiterungen im Schienennetz größere Kapazitäten, insbesondere am Oberrhein, für Verkehrsverlagerungen von der Wasserstraße zur Schiene zur Verfügung. Dies führt dazu, dass im Jahr 2030 die verkehrlichen Zusatzkosten im Niedrigwasserszenario niedriger ausfallen als im Jahr 2010, da potenziell ein höherer Anteil der Verkehre auf die Schiene verlagert werden kann. Nicht berücksichtigt ist die "Abladeoptimierung Mittelrhein", die eine wichtige Infrastrukturverbesserung im Wasserstraßennetz darstellt und sich positiv auf das Auftreten der angenommenen Einschränkungen der Wasserstraße im Niedrigwasserfall auswirken wird.

⁴⁵ Dies gilt in dieser Absolutheit für den hier betrachteten Raum.

Tabelle 4-1: Betrachtete Szenarien und Ergebnisse des Stresstests (Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH).

Szenario	1 – gravitative Massenbewegung (Felssturz Loreley)		2 – Hochwasser Rhein		3 – Niedrigwasser Rhein		4 – Extremereignis Straße	5 – Extremereignis Schiene
Beschreibung des Stresstestszenarios	Typ: Sperrung  Strecken: Bundesstraße 42 und Schienenstrecke 3507 (rechtsrheinisch) zwischen St. Goarshausen und Urbar Dauer: 21 Tage		Typ: Sperrung  Strecken: Bundesstraße 9, Schienenstrecke 2630 (linksrheinisch) und BWaStr Rhein (inkl. Fähren) im Raum Oberwesel Dauer: 21 Tage		Typ: Starke Einschränkung  Strecken: Mittelrhein, Raum Oberwesel (Pegel Kaub: 53 cm) Dauer: 180 Tage		Typ: Sperrung  Strecke: BAB 3 zwischen Dierdorf und Ransbach-Baumbach Dauer: 180 Tage	Typ: Sperrung  Strecke: Moselstrecke 3010 zwischen Koblenz-Güls und Winningen Dauer: 180 Tage
Bezugsjahr	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2030	2030
🚚 – Wirkungen im Straßenverkehr								
betroffene Kfz pro Tag	3.100	2.250	8.872	10.079	—	—	98.000	—
zusätzliche Distanz in km pro Fahrt								
a) Personenverkehr	2	2	13	16	—	—	7	—
b) Güterverkehr	2	2	8	9	—	—	7	—
zusätzlicher Zeitaufwand in Min pro Fahrt								
a) Personenverkehr	5	5	1	2	—	—	7	—
b) Güterverkehr	6	6	6	3	—	—	5	—
Transportausfall in 1000 t pro Tag	0	0	0	0	—	—	0	—
🚂 – Wirkungen im Schienenverkehr								
betroffene Züge pro Tag – Gesamt	194	220	156	253	—	—	—	131
a) SPFV	0	0	52	56	—	—	—	0
b) SPNV	56	54	52	78	—	—	—	80
c) SGV	138	166	52	119	—	—	—	51
betroffene Personen pro Tag – Gesamt	687	822	13.600	19.400	—	—	—	6.027
a) SPFV	0	0	12.300	18.100	—	—	—	0
b) SPNV	687	822	1.300	1.300	—	—	—	6.027
zusätzliche Reisezeit in Min. pro Personenfahrt								
a) SPFV	0	0	25	25	—	—	—	0
b) SPNV	40	40	45	45	—	—	—	30
SGV: Verkehrsaufkommen in t/d im Sperrbereich	75.000	95.000	36.000	87.000	—	—	—	40.000
Aus Kapazitätsgründen nicht fahrbare SGV-Züge								
a) Züge pro Tag	12	59	6	25	—	—	—	10
b) Verkehrsaufkommen in t pro Tag	7.600	32.000	4.000	15.000	—	—	—	5.400
Verlagerung auf								
a) Straße; Verkehrsaufkommen in t/d	3.575	27.200	2.985	11.202	—	—	—	4.300
b) Wasserstraße; Verkehrsaufkommen in t/d	4.026	4.666	—	—	—	—	—	1.075

Szenario	1 – gravitative Massenbewegung (Felssturz Loreley)		2 – Hochwasser Rhein		3 – Niedrigwasser Rhein		4 – Extremereignis Straße	5 – Extremereignis Schiene
Beschreibung des Stresstestszenarios	Typ: Sperrung  Strecken: Bundesstraße 42 und Schienenstrecke 3507 (rechtsrheinisch) zwischen St. Goarshausen und Urbar Dauer: 21 Tage		Typ: Sperrung  Strecken: Bundesstraße 9, Schienenstrecke 2630 (linksrheinisch) und BWaStr Rhein (inkl. Fähren) im Raum Oberwesel Dauer: 21 Tage		Typ: Starke Einschränkung  Strecken: Mittelrhein, Raum Oberwesel (Pegel Kaub: 53 cm) Dauer: 180 Tage		Typ: Sperrung  Strecke: BAB 3 zwischen Dierdorf und Ransbach-Baumbach Dauer: 180 Tage	Typ: Sperrung  Strecke: Moselstrecke 3010 zwischen Koblenz-Güls und Winningen Dauer: 180 Tage
Bezugsjahr	2010	2030	2010	2030	2010	2030	2030	2030
 – Wirkungen auf der Wasserstraße								
betroffenes Aufkommen auf der Wasserstraße in t/d	—	—	134.200	176.100	203.500	251.200	—	—
Per Binnenschiff umgesetzt in t/d	—	—	0	0	64.400	71.900	—	—
Verlagerung auf								
a) Schiene; Verkehrsaufkommen in t/d	—	—	71.300	100.500	124.000	163.700	—	—
b) Straße; Verkehrsaufkommen in t/d	—	—	62.900	75.600	13.100	15.600	—	—
Verkehrliche Kosten in €								
a) für die gesamte Ereignisdauer	2.315.000	14.146.000	39.892.000	51.688.000	301.507.000	255.318.000	87.440.000	25.067.000
b) pro Ereignistag*	110.254	673.595	1.899.598	2.461.336	1.675.040	1.418.433	485.779	139.260

* hier handelt es sich um Kalender(Ereignis)tage; alle weiteren Angaben in der Tabelle beziehen sich auf Verkehrstage

Die betroffenen Verkehre werden, soweit sie im eigenen Netz aus Kapazitätsgründen nicht fahrbar sind, größtenteils auf andere Verkehrsträger verlagert. Im Falle der Verlagerung von Schienenverkehren sind es die Binnenschifffahrt und die Straße, die die verlagerten Verkehre aufnehmen, im Falle von verlagerten Binnenschiffsverkehren sind es die Schiene (soweit möglich) und die Straße.

Trotz entstehender verkehrlicher Zusatzkosten können die Verkehre unter den in der Verkehrsstrommodellierung gemachten Annahmen in den untersuchten Szenarien zu einem großen Teil durch die Nutzung von Ausweichmöglichkeiten innerhalb der verkehrsträgerspezifischen Netze (bei der Straße und der Schiene) sowie bei auftretenden Kapazitätsengpässen auf diesen Netzen durch Verlagerungen auf andere Verkehrsträger weitgehend aufrechterhalten werden. Lagerkapazitäten schaffen dabei Freiräume, die größere Auswirkungen auf Produktion und Beschäftigung vermeiden helfen. Dies ist bei Massengütern wie Kohle, Eisenerz und Mineralölprodukten möglich, wo die benötigten Mengen aus logistischen Gründen häufig nicht per Lkw befördert werden können und deswegen eine entsprechend hohe Lagerhaltung betrieben wird. Allerdings sind auch in diesen Segmenten die Lagerkapazitäten nicht unerschöpflich.

Länger als drei Wochen anhaltende Extremereignisse, die insbesondere mit einer Ausschöpfung der Lagerkapazitäten verbunden sind, können dann weitere Reaktionen induzieren, die hier nicht untersucht wurden und aus verkehrlicher Sicht auch sehr schwer zu erfassen und abzuschätzen sind. Dies ist insbesondere für Branchen relevant, die große Mengen an trockenen und flüssigen Massengütern einsetzen, die aus logistischen Gründen nicht per Lkw transportiert werden können. Hier muss ggf. über weitere Maßnahmen wie z. B. eine Priorisierung von Transporten im verfügbaren Infrastrukturnetz nachgedacht werden.

Gemessen an den täglich mit einem Extremereignis verbundenen verkehrlichen Zusatzkosten erweist sich das dargestellte Hochwasserszenario mit dem Ausfall von drei Verkehrsträgern als das Szenario mit den höchsten verkehrlichen Zusatzkosten pro Tag. Diese liegen je nach betrachteten Verkehrszustand zwischen 1,9 und 2,5 Mio. € pro Sperrtag. Am zweithöchsten fallen die entstehenden Zusatzkosten bei der betrachteten extremen Niedrigwassersituation aus. Diese machen mit Werten zwischen 1,5 und 1,7 Mio. € je nach Verkehrszustand ungefähr 60% bzw. 90% der Kosten des Hochwasserszenarios aus, wobei die Höhe der entstehenden Zusatzkosten sehr stark von der Aufnahmefähigkeit des Schienennetzes abhängt. Ist diese Aufnahmekapazität der Schiene niedrig, müssen mehr Verkehre von der Straße zu höheren Kosten aufgenommen werden. Dass das Niedrigwasserszenario insgesamt zu einer höheren Kostenbelastung führt, liegt an der mit 180 angenommenen Tagen deutlich längeren Sperrdauer.

Bei den anderen Szenarien treten deutlich niedrigere verkehrliche Zusatzkosten pro Kalendertag auf. Der Felssturz über die B42 mit verkehrlichen Einschränkungen an der Bundesstraße bzw. der Schiene führt im Jahr 2030 zu höheren täglichen Zusatzkosten als die Sperrung der BAB 3 in Szenario 4 und der Moselstrecke in Szenario 5. Die im Jahr 2030 entstandenen Zusatzkosten liegen in diesem Szenario jedoch nur bei rd. 28 % der im Hochwasserszenario pro Kalendertag anfallenden Kosten. In Szenario 4 sind es knapp 20 % und in Szenario 5 knapp 6 %.

Die in den Szenarien berechneten verkehrlichen Wirkungen stehen prinzipiell in einem engen Zusammenhang mit den auf den jeweiligen Abschnitten betroffenen Verkehren. Somit weist das Hochwasserszenario auch die höchsten verkehrlichen Betroffenheiten aus. Diese erstrecken sich über alle Verkehrsträger, sowie über den Personen- und Güterverkehr. Im Niedrigwasserszenario sind nur die Güterverkehre der Binnenschifffahrt betroffen⁴⁶.

⁴⁶ In der Tabelle 5.1 wird im Szenario 2 und Szenario 3 für die Wasserstraße eine unterschiedlich hohe Verkehrsmenge ausgewiesen, obwohl die Ereignisorte nah beieinanderliegen und über diese Stelle insgesamt die gleichen Verkehrsmengen befördert werden. Trotzdem sind vom länger andauernden Niedrigwasserereignis auch die Verkehre der Energie-, Mineralöl- und Stahlindustrie betroffen, für die ebenfalls Lösungen gefunden werden müssen, während sie im Hochwasserszenario angenommen wird, dass für diese Verkehre aufgrund der hoher Lagervorräte keine weiteren direkten Reaktionen vorgenommen werden.

5 Anpassungsreaktionen von Unternehmen – Fallbeispiele

- Mögliche Anpassungsreaktionen von Unternehmen an extremwetterbedingte Verkehrseinschränkungen werden in zwei Fallbeispielen betrachtet.
- Fallbeispiel 1 betrachtet den Flughafen Frankfurt. Extremwetterereignisse, wie Nebel, Stürme, Gewitter sowie Eis- und Schneesituationen, können die Personen- und Güterverkehrsströme in vielfältiger Weise negativ beeinträchtigen. Maßnahmen zur Einschränkung wetterbedingter betrieblicher Ausfallzeiten umfassen eine entsprechende Lagerhaltung, das Vorhalten ausreichender Personal- und Fahrzeugkapazitäten, automatisierte Leit- und Wegesysteme und die Kerosinversorgung mittels Pipeline.
- Auch Beeinträchtigungen hochfrequentierter Zubringerstrecken im Hinterlandverkehr von Straße und Schiene können die Erreichbarkeit des Flughafens einschränken. Hier ist der Flughafen auf entsprechende Maßnahmen der DB Netz AG (z. B. Baum- und Gehölzrückschnitt für bessere Sturmresistenz) oder der zuständigen Straßenbauverwaltungen angewiesen.
- Fallbeispiel 2 betrachtet die extremwetterbedingte Störanfälligkeit der Chemieindustrie im Rhein-Neckar-Gebiet mittels einer Befragung von acht Unternehmen (54 % des Rhein-Neckar-Transportaufkommens chemischer Erzeugnisse aus der Verkehrsverflechtungsprognose). Für die befragten Unternehmen mit Binnenschifftransporten sind Transporteinschränkungen durch Extremereignisse häufige und zumeist kostspielige Vorkommnisse. Aufgrund der relativ langen Andauer entstehen Engpässe bei den befragten Unternehmen vor allem durch Niedrigwasser.
- In Reaktion auf niedrigwasserbedingte Einschränkungen wird die Transportmenge auf mehrere Schiffe verteilt (Verringerung Abladetiefe). Steht keine ausreichende Binnenschiffskapazität zur Verfügung oder sind die Kosten minderausgelasteter Schiffe zu hoch, erfolgt die Verlagerung auf die Schiene. Sind die Schienenkapazitäten überlastet oder mangelt es an verfügbaren Gleisanschlüssen erfolgt, sofern möglich und sinnvoll, die Verlagerung auf die Straße.
- Zur Erhöhung der Resilienz gegenüber den zu erwartenden Klimaänderungen – insbesondere den Auswirkungen zukünftiger Niedrigwasser – diskutieren die Unternehmen und das BMVI langfristige Anpassungsmaßnahmen.

5.1 Fallbeispiel 1 – Flughafen Frankfurt am Main

5.1.1 Ausgangssituation

Mit rd. 469.000 Flugbewegungen, 64,4 Mio. Passagieren sowie 2,2 Mio. Tonnen an Fracht- und Postaufkommen im Jahr 2017 entfallen auf den Frankfurter Flughafen 22 % aller Flugbewegungen, 27 % des Passagieraufkommens und knapp die Hälfte des Frachtaufkommens im Deutschen Luftverkehr. In allen drei Transportbereichen stellt der Frankfurter Flughafen damit den aufkommensstärksten Flughafen Deutschlands dar. Prognosen gehen von einem Anstieg des Passagieraufkommens in den kommenden fünf Jahren auf 72 Millionen Reisende aus.⁴⁷ Mit rd. 81.000 Beschäftigten bzw. rd. 5 % aller Erwerbstätigen im Rhein-Main-Gebiet ist der Frankfurter Flughafen darüber hinaus die größte lokale Arbeitsstätte Deutschlands und somit zentraler Job-Motor der Rhein-Main-Region.⁴⁸

⁴⁷ Quelle: <https://www.fraport.de/de/nachbarschaft-region/entwicklung-standort-fra-umwelt/terminal-3.suffix.html/faq.html>, Zugriff am 10.12.2018.

⁴⁸ Quelle: <https://www.fraport.de/content/fraport/de/unternehmen/medien/newsroom/archiv/2016/beschaeftigtenzahlen-am-flughafen-frankfurt-erneut-gewachsen.html>, Zugriff am 06.12.2018.

Neben Luftverkehren stellt der Flughafen Frankfurt auch für Schienen- und Straßenverkehre einen wichtigen Personenverkehrsknoten dar. Rund 25 Mio. der knapp 65 Mio Fluggäste nutzen Pkw (Anteil: 58 %) und Bahn (Anteil: 42 %) für die Anfahrt zum bzw. Abfahrt vom Flughafen, während der überwiegende Rest Transitpassagiere darstellt. Ein Drittel dieser sogenannten Originärpassagiere stammen dabei aus Frankfurt und weiteren Großstädten des Rhein-Main-Gebiets (Offenbach, Darmstadt, Wiesbaden, Mainz, Aschaffenburg). Weitere 11 % stammen aus den unmittelbar angrenzenden Landkreisen, darunter insbesondere dem Hochtaunuskreis, Main-Taunus-Kreis und Groß-Gerau. Weitere relevante Quell-/ Zielpunkte von Originärpassagieren sind unter anderem Düsseldorf, Köln, Bonn, Gießen, Marburg, Mannheim, Ludwigshafen, Heidelberg und Karlsruhe (vgl. Abbildung 5-1).



Abbildung 5-1: Aufkommen der Originärpassagiere des Frankfurter Flughafens nach Quell- und Zielregionen in 2010; Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Pro Tag halten durchschnittlich 257 S-Bahnen und Regionalzüge sowie 175 Hochgeschwindigkeitszüge am Regionalbahnhof bzw. am Fernbahnhof des Flughafens.⁴⁹ Wichtige Zubringerstrecken sind die Schnellfahrstrecke Köln-Rhein/Main, die Riedbahn Richtung Mannheim, die Main-Spessart-Bahn Richtung Aschaffenburg und der Korridor Hamburg – Hannover – Göttingen – Fulda – Frankfurt. Wichtigste Zubringerstrecke der Straße sind die Autobahnen BAB 3 und BAB 5, die sich in unmittelbarer Nähe zum Flughafen am Frankfurter Kreuz kreuzen und damit einen der meistbefahrenen Straßenknoten Europas bilden. Auf beiden Autobahnen verkehren fast 140.000 Fahrzeuge pro Tag.

5.1.2 Extremwetterbedingte Störungen und Anpassungsmaßnahmen

Aufgrund seiner wirtschaftlichen und verkehrlichen Bedeutung können Extremwetterereignisse Personen- und Güterverkehrsströme am Flughafen Frankfurt und somit die gesamte Rhein-Main-Region in vielfältiger Weise negativ beeinträchtigen. Vergleichsweise häufig auftretende Wettersituationen, die den Flughafenbetrieb negativ beeinflussen, sind Nebel, Stürme und Gewitter sowie im Winter Eis- und Schneesituationen. Sie können den Luftverkehrsbetrieb gefährden oder zum Stillstand kommen lassen und führen durch aus Sicherheitsgründen verlängerte Start- und Landezeitfenster zu betrieblichen Verzögerungen. Doch auch Beeinträchtigungen hochfrequentierter Zubringerstrecken im Hinterlandverkehr von Straße und Schiene durch beispielsweise Unwetter und Hangrutsche können die Erreichbarkeit des Flughafens einschränken.

Maßnahmen die der Flughafen im Umgang mit solchen wetterbedingten Störungen ergriffen hat, um die betrieblichen Ausfallzeiten in Grenzen zu halten, umfassen a) eine entsprechende Lagervorhaltung, die im Wesentlichen fast die gesamte erwartete Eintrittszeit umfasst, b) das Vorhalten von ausreichenden Personal- und Fahrzeugkapazitäten sowie c) die intensive Nutzung von automatisierten Leit- und Wegesystemen. Doch nicht in allen Fällen kann der Frankfurter Flughafen direkt eingreifen.

Die Kerosinversorgung der Airlines am Frankfurter Flughafen läuft fast ausschließlich über Pipelines ab und ist von Wetterereignissen unabhängig. Bei den Hinterlandverkehrsverbindungen versucht die DB Netz AG, das Netz in den nächsten Jahren „sturmresistenter“ zu machen, indem Bäume und Gehölze zurückgeschnitten werden, damit die Ausfallsicherheit der Strecke erhöht und größere Umroutungen oder der Ausfall von Verkehren vermieden werden können.

Einer zukünftigen möglichen Intensivierung von Hangrutschungen oder Ausspülungen von Dämmen und Streckenabschnitten könnte man bei gegebenen Anlässen durch die Stabilisierung der entsprechenden Lagen und die Ergreifung baulicher Maßnahmen im Ereignisfall begegnen. Auf solche Ereignisse würde die DB Netz für den Bereich der Schiene ebenfalls schnell reagieren. Für die Straße kann dies durch die entsprechenden Straßenbauverwaltungen ebenfalls angenommen werden.

5.2 Fallbeispiel 2 – Chemieindustrie im Rhein-Neckar-Gebiet

5.2.1 Ausgangssituation

Das Rhein-Neckar-Gebiet mit seinen Zentren Mannheim/Ludwigshafen am Rhein/Heidelberg stellt eine der elf Metropolregionen Deutschlands dar. Die Region mit ihren rd. 2,4 Mio. Einwohnern befindet sich im Dreiländereck Hessen/Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg. In der Rhein-Neckar-Region sind namenhafte Konzerne wie BASF, SAP oder HeidelbergCement sowie zahlreiche mittelständisch geprägte Unternehmen angesiedelt. Zusammen erwirtschaften sie ca. 3 % des deutschen Bruttoinlandsproduktes. Dass das BIP je Erwerbstätigem mit rd. 76.000 € höher ist als das des Ruhrgebietes und des deutschlandweiten Durchschnitts unterstreicht die wirtschaftliche Bedeutung des Rhein-Neckar-Gebiets.

⁴⁹ Quelle: Fraport AG Frankfurt Airport Services Worldwide 2018.

Infrastrukturell ist die Region an wichtige nationale und europäische Nord-Süd- und Ost-West-Achsen angebunden, u. a. an die Autobahnen BAB 5 und BAA 6, an die Rheintalbahn, die Schienenstrecke Mannheim–Stuttgart–München sowie an die Ried- und Main-Neckar-Bahn, welche das Rhein-Neckar-Gebiet mit dem Rhein-Main-Gebiet verbindet. Die Region verfügt über mehrere Terminals für Kombinierten Verkehr, unter anderem Ludwigshafen KTL und Mannheim Mühlauhafen mit einem Umschlagsvolumen in Höhe von rd. 286.000 Ladeeinheiten bzw. 105.000 Ladeeinheiten im Jahr 2010. Darüber hinaus besitzt das Areal Mannheim/Ludwigshafen mit einem Umschlagaufkommen von rd. 15,3 Mio. Tonnen im Jahr 2016 einen der größten Binnenhäfen Deutschlands.

Im Jahr 2010 verfügte das Rhein-Neckar-Gebiet über ein Transportaufkommen in Höhe von rd. 183 Mio. Tonnen, was etwa 3 % des deutschen Transportaufkommens entspricht. Dieses Aufkommen wird im Wesentlichen in den Städten Ludwigshafen am Rhein und Mannheim sowie in den Landkreisen Rhein-Neckar, Germersheim und Bergstraße generiert (vgl. Abbildung 5-2). Wesentliche Transportrelationen sind einerseits Binnenverkehre innerhalb des Rhein-Neckar-Gebietes sowie Verkehre von und zu den ARA-Häfen⁵⁰ und dem Rhein-Main-Gebiet. Während bei Verkehren innerhalb des Rhein-Neckar-Gebietes der Lkw aufgrund der niedrigen Transportdistanz dominiert, kommen für die Verkehre von und zu den ARA-Häfen hauptsächlich Binnenschiffe zum Einsatz. Die Schiene besitzt hohe Modal-Split Anteile, insbesondere bei Transporten in Richtung deutsche Nordseehäfen und Mailand.

Eine der wesentlichen Säulen des Standorts Rhein-Neckar stellt die Chemieindustrie dar. Hierzu zählen neben BASF Unternehmen wie Evonik, Grace, ICL, LANXESS, Phoenix Pharmahandel, THOR und TIB Chemicals. Die hohe Konzentration an Chemieunternehmen spiegelt sich in einem überdurchschnittlichen Anteil von chemischen Erzeugnissen am Transportaufkommen des Rhein-Neckar-Gebietes wider. So entfallen rd. 14 % (rd. 25 Mio. Tonnen) des Rhein-Neckar-Aufkommens auf Transporte chemischer Erzeugnisse, während der deutschlandweite Durchschnitt lediglich bei etwa. 5 % liegt.

Mit einem Anteil von 54 % besitzt Ludwigshafen den überwiegenden Anteil an den Chemietransporten im Rhein-Neckar-Gebiet, was im Wesentlichen auf BASF zurückzuführen ist. Allein in Ludwigshafen ist die Höhe des Chemietransportaufkommens mit rd. 14.000 Tonnen fast ebenso hoch wie das Transportaufkommen der restlichen Gütergruppen (rd. 20.000 Tonnen). Weitere wichtige Standorte sind Mannheim, Worms und der Rhein-Neckar-Kreis, welche zusammen rd. 30 % des Chemietransportaufkommens ausmachen. Bis 2030 wird ein Wachstum des Transportaufkommens von rd. 24 % (alle Güterabteilungen) bzw. 31 % (chemische Erzeugnisse) prognostiziert (vgl. Abbildung 5-2).

5.2.2 Extremwetterbedingte Störungen des Verkehrs

Um die Effekte von extremwetterbedingten Verkehrsträgerausfällen auf die verladende Wirtschaft beschreiben zu können, bietet sich für das Rhein-Neckar-Gebiet die Konzentration auf die Chemieindustrie aufgrund ihres bedeutenden wirtschaftlichen und verkehrlichen Stellenwertes an. Im Bereich des Güterverkehrs ist die Rhein-Neckar-Chemieindustrie auf die Verkehrsträger Wasserstraße und Schiene angewiesen und daher bei Niedrig- und Hochwasser bzw. Hangrutschungen verwundbar.

Unternehmensbefragung – Grundlagen: Um die extremwetterbedingte Störanfälligkeit der Chemieindustrie im Rhein-Neckar-Gebiet bewerten zu können, wurden mittels einer telefonischen Befragung von Unternehmen der Chemieindustrie Informationen zu folgenden Bereichen gesammelt:

- Transportvolumina und Transportrelationen,
- Lagerhaltungsstrategien,
- den Umgang mit Lieferengpässen aufgrund vergangener Extremwetterereignisse sowie
- Vorkehrungsmaßnahmen zur Bewältigung zukünftiger Extremwetterereignisse

⁵⁰ Häfen von Amsterdam, Rotterdam und Antwerpen.

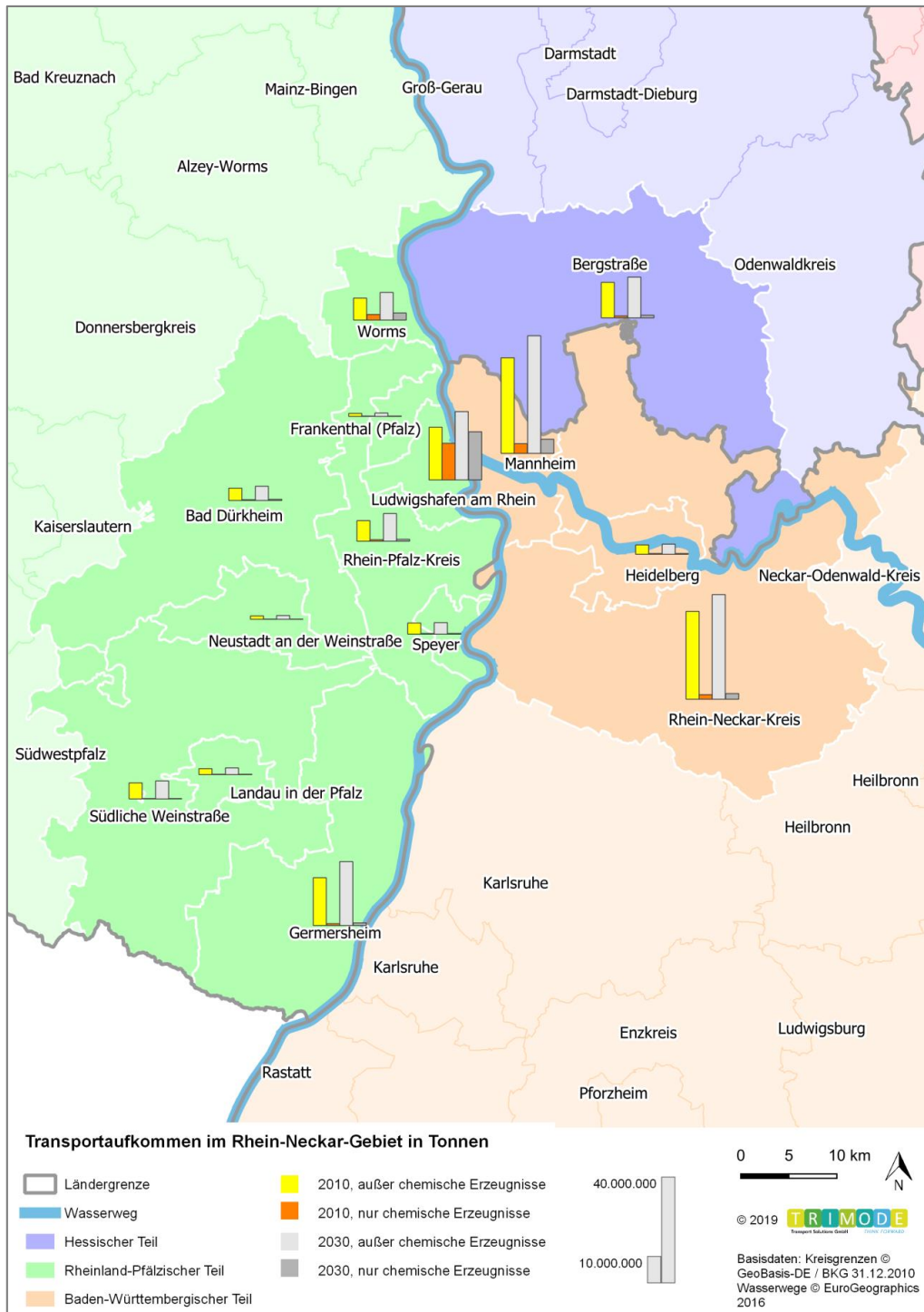


Abbildung 5-2: Transportaufkommen im Rhein-Neckar-Gebiet 2010 und 2030; Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH.

Auf der Grundlage von Unternehmensdatenbanken wurden 40 Unternehmen der Chemiebranche kontaktiert. Davon erklärten sich acht Unternehmen zur Teilnahme an der Befragung bereit. Durch die überwiegend telefonisch geführten Interviews konnte ein jährliches Transportaufkommen von insgesamt rd. 15 Mio. Tonnen im Jahr 2018 ermittelt werden. Das entspricht etwa 54 % des Rhein-Neckar-Transportaufkommens chemischer Erzeugnisse aus der Verkehrsverflechtungsprognose (vgl. Tabelle 5-1), bei Bahn und Binnenschiff sind durch die Befragung die Verkehrsmengen sogar zu über 95% erfasst worden. Somit kann trotz der geringen Rücklaufquote von 20 % von einer sehr hohen Repräsentativität der Befragungsergebnisse ausgegangen werden.

Tabelle 5-1: Vergleich der Befragung mit Daten der Verkehrsverflechtungsprognose zum Jahr 2018.

	Transportaufkommen [Tsd. t]
Rhein-Neckar-Gebiet (Chemieindustrie) 2010	25.191
Rhein-Neckar-Gebiet (Chemieindustrie) 2030	32.985
Jährliche Wachstumsrate	1,36%
Rhein-Neckar-Gebiet (Chemieindustrie) 2018 (geschätzt*)	28.059
Befragte Unternehmen	15.106
Erfassungsquote	54%

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

* Da die Verkehrsstatistik nur Werte für 2010 und 2030 besitzt, wurde das Transportaufkommen chemischer Erzeugnisse des Rhein-Neckar-Gebiets für das Jahr 2018 in Höhe von rd. 28 Mio. Tonnen mit Hilfe der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate zwischen 2010 und 2030 ermittelt.

Unternehmensbefragung – Ergebnisse: In den Gesprächen hat sich gezeigt, dass das Binnenschiff im Wesentlichen für den Import von Rohstoffen von den ARA-Häfen für die Produktion genutzt wird, während der Versand von Produkten hauptsächlich per Lkw erfolgt. Bahntransporte erfolgen in beiden Transportrichtungen nur in geringem Ausmaß, wobei die Bedeutung der Schiene für beide Verkehrsrichtungen ähnlich groß ist. Für die Transporte wird weitestgehend auf Fahrzeuge externer Dienstleister, Reeder, EVUs und Spediteure zurückgegriffen. Eigene Transportflotten besitzen die Unternehmen nur in Ausnahmefällen in Form von Lkw. Die Abkehr von der Haltung eines eigenen Fuhrparks zugunsten externer Spediteure ist durch sinkende Sendungsvolumina, welche in einer zu geringen Auslastung der Fahrzeuge resultieren würden, sowie die steigende Bedeutung internationaler Transporte begründet.

Für die befragten Unternehmen mit Binnenschiffstransporten sind Transporteinschränkungen durch Extremwetterereignisse häufige und i. d. R. kostspielige Vorkommnisse. Engpässe entstehen bei den befragten Unternehmen ausschließlich durch Niedrigwasser, während Hochwasser aufgrund der im Regelfall vergleichsweise kurzen Dauer kein wesentliches Problem darstellt. Über Einschränkungen bei Straße und Schiene konnte nicht berichtet werden.

Die durch Niedrigwasser betroffenen Unternehmen reagieren auf solche Einschränkungen, unabhängig von der Länge ihrer Dauer, im Regelfall nach folgendem Muster:

- 1) Verteilung der Transportmenge auf mehrere Schiffe, um deren Abladetiefe zu verringern.
- 2) Verlagerung auf das ebenfalls massengutaffine Verkehrsmittel Bahn für den Fall, dass keine ausreichende Binnenschiffskapazität zur Verfügung steht oder die Kosten des Transports mittels minderausgelasteter Schiffe die eines Schienentransports übersteigen.
- 3) Verlagerung auf die Straße (Lkw) für den Fall, dass die Schienenkapazitäten überlastet sind oder es an verfügbaren Gleisanschlüssen mangelt. Die gestaltet sich aufgrund des sich stetig verstärkenden Fahrermangels immer schwieriger.

Sämtliche Unternehmen gehen davon aus, dass sich die Probleme durch Niedrigwasser in Zukunft verschärfen werden. Hierbei bezog man sich auch auf die zum Zeitpunkt der Befragung herrschende Niedrigwassersituation. Die Unternehmen berichteten über eine hohe und unbefriedigte Schiffsnachfrage, unabhängig von der Schiffsgröße, und von Frachtratenerhöhungen um bis zum Dreifachen der Normalrate. Andere Arten von Extremereignissen (z. B. Stürme, Hangrutsche etc.) sind für die befragten Unternehmen nicht relevant. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund zu sehen, dass Lkw überwiegend die Autobahnen nutzen und hier geringe Gefahren gesehen werden.

5.2.3 Langfristige Anpassungsmaßnahmen

Welche Vorkehrungsmaßnahmen getroffen werden, um resilienter gegenüber den Auswirkungen zukünftiger Niedrigwasser zu sein, ist stark davon abhängig, in welchem Ausmaß die befragten Unternehmen das Binnenschiff für ihre Transporte verwenden. Unternehmen, die weitestgehend per Lkw transportieren und das Binnenschiff nur zu einem geringfügigen Anteil für ihre Transportaktivitäten nutzen, wollen zukünftig in einen eigenen Lkw-Fuhrpark investieren. Durch die Verlagerung der vergleichsweise geringen Binnenschiffsmengen in Niedrigwassersituationen auf den Lkw erhofft man sich eine höhere Flexibilität und eine Verbesserung der Kostensituation. Da der überwiegende Teil der Verkehre ohnehin mit fremden Lkw abgewickelt wird, wird die erwartete Zusatzbelastung einer eigenen Flotte als gering eingeschätzt.

Für Unternehmen mit Binnenschiffsaufkommen jenseits mehrerer 10.000 Tonnen pro Jahr, kommt die Anschaffung eigener Lkw nicht in Frage. Die zu verlagernden Mengen bedürfen einer hohen Anzahl anzuschaffender Lkw mit entsprechend hohen Investitionskosten. Darüber hinaus lässt sich, auch in Hinblick auf den allgemein vorherrschenden Mangel an Lkw-Fahrern, die Verlagerung auf den Lkw in solch einer Größenordnung nur schwer bewerkstelligen. Stattdessen zielen diese Unternehmen darauf ab, niedrigwasserbedingten Transportengpässen durch eine verstärkte Nutzung der Bahn, durch den Bau einer Pipeline oder durch die Anschaffung eigener Schiffe mit reduzierten Tiefenansprüchen vorzukehren. Gleichzeitig sind diese Unternehmen durch Produktionsausfallversicherungen zusätzlich abgesichert.

Sämtliche befragte Unternehmen, unabhängig von ihrem Binnenschiffsaufkommen, zielen zukünftig auf eine Steigerung ihrer Lagerkapazitäten ab, da diese derzeit in den meisten Fällen für wenige Tage bis maximal zwei Wochen ausreichen.

Obwohl sich nur die wenigsten Unternehmen durch alternative Bezugsquellen oder Produktionsstätten im Falle von Belieferungsempässen absichern können, werden Auslagerungen von Produktionskapazitäten oder gänzliche Standortwechsel ausnahmslos ausgeschlossen. Niedrigwassersituationen werden auch in Zukunft als ein nicht ausreichend signifikantes Problem betrachtet, welches einen solch kostenintensiven Schritt rechtfertigen würde. Einer der international tätigen Gesprächspartner wies daraufhin, dass in anderen Teilen der Welt Wetterextreme häufiger auftreten und auch mit größeren Wirkungen verbunden sind.

Für Unternehmen mit ausschließlich Lkw-Transporten ist das Thema Extremwetterereignisse von geringer Bedeutung, da das Straßennetz im Falle von Erdbeben, Überflutungen oder Unwetterschäden genügend Ausweichmöglichkeiten bietet. Ähnlich gestaltet sich dies für Unternehmen, welche auch den Transport mit Flugzeugen für besonders eilige Transporte nutzen. Im Fall von wetterbedingten Luftverkehrsbeeinträchtigungen wird lediglich auf andere Flughäfen ausgewichen.

Kommt es zu einer Behinderung von Pendelverkehren der Beschäftigten, beispielsweise durch ein ähnliches Ereignis wie in Rastatt 2017 oder durch überflutete Straßen, so erwarten die entsprechenden Unternehmen, dass die betroffenen Mitarbeiter selbstständig Lösungen finden, um zum Arbeitsplatz zu gelangen. Eine Einrichtung von Pendelverkehren seitens der Unternehmen würde überwiegend nicht erfolgen.

6 Fazit und Ausblick

6.1 Wesentlicher Erkenntnisgewinn

Unter den – nicht unbedingt in allen Aspekten realistischen – Annahmen und Randbedingungen der hier vorgestellten Szenarien bietet die Verkehrsinfrastruktur im betrachteten Mittelrheingebiet generell genug Kapazitäten die Verkehre abzuwickeln; allerdings zu höheren Kosten. Bei den angenommenen Einschränkungen (Stresstestszenarien) kommt es zunächst zu Reaktionen innerhalb des betroffenen Verkehrsträgers. Bei Schiene und Straße sind dies zunächst UmROUTungen auf andere Strecken, bei der Binnenschifffahrt sind es fahrbedingte Einschränkungen verbunden mit höheren Kosten.

Auf der Straße sind im Tagesdurchschnitt ausreichende Kapazitäten zur Bewältigung der umgerouteten Verkehre vorhanden. Zudem verfügen insbesondere die Autobahnen im Tagesdurchschnitt noch über Kapazitäten, um Verlagerungen von anderen Verkehrsträgern aufzunehmen. Verlagerungen betroffener Verkehre auf andere Verkehrsträger erfolgen, wenn die Kapazität des originären Verkehrsträgers nicht ausreicht oder Ausweichrouten fehlen (Bsp. Binnenschifffahrt). Im Falle der Verlagerung von Schienenverkehren nehmen die Binnenschifffahrt und die Straße die verlagerten Verkehre auf. Im Falle von verlagerten Binnenschiffsverkehren erfolgt soweit möglich eine Verlagerung auf die Schiene und erst dann auf die Straße.

Gemessen an den mittels der Verkehrsstrommodellierung ermittelten täglich mit einem Extremereignis verbundenen verkehrlichen Zusatzkosten erweist sich das Hochwasserszenario mit dem Ausfall von drei Verkehrsträgern als das Szenario mit den höchsten verkehrlichen Zusatzkosten pro Tag. Diese liegen je nach betrachteten Verkehrszustand zwischen 1,9 und 2,5 Mio. € pro Sperrtag (vgl. Tabelle 6-1). Am zweithöchsten fallen die entstehenden Zusatzkosten bei der betrachteten extremen Niedrigwassersituation aus. Diese machen mit Werten zwischen 1,5 und 1,7 Mio. € je nach Verkehrszustand ungefähr 60% bzw. 90% der Kosten des Hochwasserszenarios aus, wobei die Höhe der entstehenden Zusatzkosten insbesondere stark von der Aufnahmefähigkeit des Schienennetzes abhängt. Ist diese Aufnahmekapazität der Schiene niedrig müssen mehr Verkehre von der Straße zu höheren Kosten aufgenommen werden. Dass das Niedrigwasserszenario insgesamt zu einer höheren Kostenbelastung führt, liegt an der mit 180 angenommenen Tagen deutlich längeren Sperrdauer. Bei den anderen Szenarien (Streckensperrungen Schiene und oder Straße aufgrund gravitativer Massenbewegungen oder anderweitiger Extremereignisse) treten deutlich niedrigere verkehrliche Zusatzkosten pro Kalendertag auf.

Tabelle 6-1: Zusammenstellung der verkehrlichen Kosten aller Szenarien.

Szenario	Sperrzeit	betroffene Verkehrsträger	Kosten gesamt in €		Kosten in €/Tag	
			2010	2030	2010	2030
1 – Felssturz	21	2	2.315.335	14.145.505	110.254	673.595
2 – Hochwasser	21	3	39.891.564	51.688.058	1.899.598	2.461.336
3 – Niedrigwasser	180	1	301.507.151	255.317.945	1.675.040	1.418.433
4 – Extremereignis – Straße	180	1	—	87.440.132	—	485.779
5 – Extremereignis – Schiene	180	1	—	25.066.758	—	139.260

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Generell ist für das Mittelrheingebiet festzustellen, dass die verkehrlichen Zusatzkosten umso höher ausfallen je mehr Verkehrsnetze von den Sperrungen betroffen sind, je höher die verkehrliche Bedeutung der

gesperrten Abschnitte ist und je länger eine Unterbrechung dauert. Lagerkapazitäten schaffen in den untersuchten Szenarien Flexibilität und können größere Auswirkungen auf Produktion und Beschäftigung in gewissem Rahmen vermeiden helfen. Für den Fall länger anhaltender Extremereignisse, die mit einer Ausschöpfung der Lagerkapazitäten verbunden sind, müssen von den Unternehmen weitergehende Anpassungsoptionen erwogen werden (Ausbau der Lagerkapazitäten, Anpassungen der Verkehrs- und Logistik-Infrastruktur, des Fuhrparks, Priorisierung von Transporten etc.). Zu betonen ist der modellhafte Charakter der Studie und die aufgrund fehlender Informationen zum Teil noch realitätsfernen Modellannahmen. Auch die über die reinen verkehrlichen Zusatzkosten hinausgehenden wirtschaftlichen Auswirkungen der betrachteten Stresstestszenarien sind mit dem derzeitigen Modellansatz nicht bewertbar.

6.2 Offene Forschungsfragen

Die vorgestellte Untersuchungsmethodik zeigt ein großes Potential, die Wirkung witterungsbedingter disruptiver Ereignisse auf Verkehrsströme quantitativ zu erfassen und in Bezug auf die verkehrlichen Zusatzkosten zu monetarisieren. Der situative Charakter des Ansatzes hebt sich von den klassischen Klimafolgenanalysen ab, die jeweils die langjährige Statistik unter veränderten Klimabedingungen untersuchen. Der Wunsch liegt nahe, dieses Potential in zukünftigen Forschungsaktivitäten weiter auszuschöpfen. So können neben dem Mittelrhein weitere verkehrlich hochrelevante Räume untersucht werden und weitere Stresstestszenarien entworfen werden. Gedacht sei hier etwa an das Szenario einer extremen Sturmflut mit ihrer Wirkung auf die deutschen Nordseehäfen und ihre Hinterlandverkehre. Auch im Binnenbereich ist die Konstruktion und Untersuchung weiterer Stresstestszenarien möglich. So wäre beispielsweise eine Kombination von Einzelereignissen denkbar, die dann auch die möglichen Ausweichrouten einschränkt und somit die verkehrlichen Zusatzkosten des Ereignisses deutlich erhöht. Denkbar wäre hier beispielsweise eine Kombination aus einem Flusshochwasser und einer starkniederschlagsinduzierten Hangrutschung auf einer wichtigen Ausweichstrecke.

Weiterhin müssen bestehende konzeptionelle und datentechnische Lücken geschlossen werden. So werden in den Szenarien bislang lediglich die Kapazitäten der Verkehrsinfrastruktur abgebildet, nicht jedoch die Kapazität des Verkehrs selbst. Bestehende Engpässe im Bereich verfügbaren Fahrzeugflotten und Fahrzeugführer (Schiffen, Lkw, Lokomotiven und entsprechendes Personal) können derzeit noch nicht berücksichtigt werden. Umschlags- und Rangierkapazitäten sind aufgrund unzureichender Informationen derzeit ebenfalls noch nicht abbildbar. Solche in der Realität vorliegenden Restriktionen können im realen Eintrittsfall eines der angenommenen Szenarien zu deutlich höheren verkehrlichen Wirkungen und Kosten führen. Insbesondere im Bereich der Schiene zeigen die Szenarien im Rahmen der Alternativwegsuche eine hohe Nutzung der Schieneninfrastruktur in Frankreich und Belgien auf. Hier stehen jedoch keine abgesicherten Informationen zu vorliegenden Restkapazitäten und vorhandenen qualitativen Streckenrestriktionen (wie z. B. Lichtraumprofile, Steigungsmaße, etc.) zur Verfügung. Sich hieraus zusätzlich ergebende Restriktionen können die berechneten negativen Wirkungen weiterhin erhöhen.

Auch ist die in den Szenariorechnungen zugrundeliegende Annahme, dass die zusätzlich entstehenden Transportkosten von den Betrieben aufgefangen oder an die nächste Produktions- oder Konsumstufe weitergegeben werden können, insbesondere in wettbewerbsintensiven Bereichen zu hinterfragen.

Einigen dieser Punkte kann in einer weiteren Forschungsphase des BMVI-Expertenetzwerkes nachgegangen werden. Das hohe Interesse und die intensiven Diskussionen zu den vorliegenden Ergebnissen zeigen, dass hier ein hoch spannendes Thema angerissen wurde. Die Autoren dieses Berichts sind entsprechend motiviert, den begonnenen Weg im verkehrsträgerübergreifenden Verbund weiterzugehen.

7 Literatur

- Belz JU, Brahmmer G, Buiteveld H, Engel H, Grabher R, Hodel H, Krahe P, Lammersen R, Larina M, Mendel H-G, Meuser A, Müller G, Plonka B, Pfister L und Van Vuuren W (2007) Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert - Analyse, Veränderungen, Trends, KHR: Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheins, Lelystad.
- BMVI (2015a) Verkehr in Zahlen 2015/2016, 44. Jahrgang DVV Media Group, Hamburg.
https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen_2015-pdf.pdf?__blob=publicationFile
- BMVI (2015b) Verkehrsverflechtungsprognose 2030 – Netzumlegungen. Belastungskarten Straße, Schiene, Wasserstraße, Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).
- BMVI (2016) Bundesverkehrswegeplan 2030, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2030-gesamtplan.pdf>
- Bott F, Lohrengel A-F, Forbriger M, Ganske A, Haller M und Herrmann C (2020) Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext von Stürmen - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Sturmgefahren (SP-104) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI:10.5675/ExpNBF2020.2020.05
- Brienen S, Walter A, Brendel C, Fleischer C, Ganske A, Haller M, Helms M, Höpp S, Jensen C, Jochumsen K, Krähenmann S, Möller J, Nilson E, Rauthe M, Razafimaharo C, Rudolph E, Schade N und Stanley K (2020) Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI:10.5675/ExpNBS2020.2020.02
- BVU und ITP (2015) Verkehrsverflechtungsprognose 2030 sowie Netzumlegungen auf die Verkehrsträger, Los 5: Netzumlegung Schiene, BVU - entspr. Abteilung in TRIMODE umbenannt, Freiburg-München.
- BVU, TNS und KIT (2016) Entwicklung eines Modells zur Berechnung von modalen Verlagerungen im Güterverkehr für die Ableitung konsistenter Bewertungsansätze für die Bundesverkehrswegeplanung, FE 96.1002/2012, BVU - entspr. Abteilung in TRIMODE umbenannt, Freiburg-München.
- FGSV (2015) Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln.
- Hänsel S, Brendel C, Fleischer C, Ganske A, Haller M, Helms M, Jensen C, Jochumsen K, Möller J, Krähenmann S, Nilson E, Rauthe M, Rasquin C, Rudolph E, Schade N, Stanley S, Wachler B, Deutschländer T, Tinz B, Walter A, Winkel N, Krahe P und Höpp S (2020a) Vereinbarungen des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk zur Analyse von klimawandelbedingten Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre. DOI:10.5675/ExpNHS2020.2020.01
- Hänsel S, Brendel C, Forbriger M, Herrmann C, Hillebrand G, Kirsten J, Klose M, Lohrengel A-F, Meine L, Nilson E, Ork J-P, Patzwahl R, Rauthe M und Schade NH (2020b) Klimawirkungsanalyse für die Bundesverkehrswege – Methodik und erste Ergebnisse. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Klimawirkungsanalyse (SP-102) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI:10.5675/ExpNHS2020.2020.03
- Kotzagiorgis S, Rothstein B und Scholten A (2019) Einflüsse von Wetter- und Klimaextremen auf überregionale Verkehrsströme – Stresstestszenario Mittelrhein. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE-Nr. 69.0001/2017/, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach.
- Lindner D, Kotzagiorgis S und Hülsemann U (2020) Bedarfsprognose für Lkw-Parkstände auf Bundesautobahnen. FE 21.0056/2013, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Bergisch Gladbach (unveröffentlicht).
- Lohrengel A-F, Brendel C, Herrmann C, Kirsten J, Forbriger M, Klose M und Stube K (2020) Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext gravitativer Massenbewegungen - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hangrutschungen (SP-105) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI:10.5675/ExpNLAF2020.2020.06
- MUFV-RLP (2005) Gewässer in Rheinland-Pfalz – Die Bestandsaufnahme nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (MUFV-RLP), Mainz.
https://wrrl.rlp-umwelt.de/servlet/is/8606/Bestandsaufnahme_RLP%202005.pdf?command=downloadContent&filename=Bestandsaufnahme_RLP_2005.pdf

- Nilson E (2014) Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussgeschehen und die Binnenschifffahrt in Deutschland: Schlussbericht KLIWAS-Projekt 4.01. Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- Nilson E, Astor B, Bergmann L, Fischer H, Fleischer C, Hauer G, Helms M, Hillebrand G, Höpp S, Kikillus A, Labadz M, Mannfeld M, Razafimaharo C, Patzwahl R, Rasquin C, Rauthe M, Riedel A, Schröder M, Schulz D, Seiffert R, Stachel H, Wachler B und Winkel N (2020) Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks. DOI:10.5675/ExpNNE2020.2020.07
- Norpoth M, Patzwahl R, Seiffert R, Bergmann L, Forbriger M, Hänsel S, Hatz M, Herrmann C, Hillebrand G, Lifschitz E, Lohrengel A-F, Nilson E, Ork J, Schade N, Schulz D, Stachel H und Wachler B (2020) Konzeptionelle Beiträge zur Auseinandersetzung mit der Anpassung des Bundesverkehrswegesystems an den Klimawandel - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Anpassungsoptionen (SP-107) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks. DOI:10.5675/ExpNNM2020.2020.08
- Rauthe M, Brendel C, Helms M, Lohrengel A-F, Meine L, Nilson E, Norpoth M, Rasquin C, Rudolph E, Schade NH, Deutschländer T, Fleischer C, Forbriger M, Ganske A, Herrmann C, Kirsten J, Möller J und Seiffert R (2020) Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext Hochwasser - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hochwassergefahren (SP-103) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks. DOI:10.5675/ExpNRM2020.2020.04
- Schade N, Hüttl-Kabus S, Ebner von Eschenbach A-D, Hohenrainer J, Jensen C, Möller J, Rasquin C, Wachler B, Ganske A und Heinrich H (2020) Klimaänderungen und Klimafolgenbetrachtung für das Bundesverkehrssystem im Küstenbereich - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Fokusgebiete Küsten (SP-108) im Themenfeld 1 des BMVI-Experten Netzwerks. DOI:10.5675/ExpNSN2020.2020.09
- Scholten A (2010) Massenguttransport auf dem Rhein vor dem Hintergrund des Klimawandels. Eine Untersuchung der Auswirkungen von Niedrigwasser auf die Binnenschifffahrt und die verladende Wirtschaft. Würzburger Geographische Arbeiten, 107. Geographische Gesellschaft Würzburg, 361 pp.,
- Scholten A und Rothstein B (2012) Auswirkungen von Niedrigwasser und Klimawandel auf die verladende Wirtschaft, Binnenschifffahrt und Häfen entlang des Rheins. Untersuchungen zur gegenwärtigen und zukünftigen Vulnerabilität durch Niedrigwasser., Geographische Gesellschaft Würzburg.
- Schwanhäußer W (1974) Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn, RTWH-Aachen, Aachen.

8 Abkürzungsverzeichnis

AG	A ktiengesellschaft
ARA-Häfen	Häfen von A msterdam, R otterdam und A ntwerpen
BAB	B undesautobahn
BALM	B undesanstalt für L andwirtschaftliche M arktordnung
BASt	B undesanstalt für S traßenwesen
BAW	B undesanstalt für W asserbau
BBSR	B undesinstitut für B au-, S tadt- und R aumforschung
BfG	B undesanstalt für G ewässerkunde
BIP	B ruttoinlandsprodukt
BMVBS	B undesministerium für V erkehr, B au und S tadtentwicklung
BMVI	B undesministerium für V erkehr und digitale I nfrastruktur
BVU	B eratergruppe V erkehr + U mwelt GmbH
BVWP	B undesverkehrswegeplan
DB	D eutsche B ahn
Destatis	Statistisches Bundesamt
DTV	D urchschnittlicher t äglicher V erkehr
DWD	D eutscher W etterdienst
EC	E urocity: Reisezüge im internationalen Fernverkehr in Europa
GIS	G eografisches I nformationssystem
GMB	G ravitative M assenbewegung
GV	G üterverkehr
Hbf	H auptbahnhof
HBS	H andbuchs für die B emessung von S traßenverkehrsanlagen (
HSQ	HSW zugehöriger A bflusswert
HSW	h öchster S chiffahrtswasserstand
HW	H ochwasser
IC	I ntercity: Zuggattung des Fernverkehrs der DB Netz AG
ICE	I ntercity- E xpress: Schnellste Zuggattung der DB Netz AG
KBA	K raftfahrt- B undesamt
KV	K ombinierter V erkehr
MIV	M otorisierter I ndividualverkehr
NEMOBFStr	N etzmodell für die B undesfernstraßen
NST-Systematik	N omenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport (Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik)
NUTS	N omenclature des u nités t erritoriales s tatistiques (hierarchische Systematik zur eindeutigen Identifizierung und Klassifizierung der räumlichen Bezugseinheiten der amtlichen Statistik in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union)
NW	N iedrigwasser
ÖSPV	Ö ffentlicher S traßenpersonenverkehr

Pkm	P ersonen k ilometer
Q	Abfluss
QSV	Q ualitätsstufe des V erkehrsablaufes
RB	R egional b ahn: Zuggattung der DB Netz AG
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i> – Emissionsszenarien (Repräsentative Konzentrationspfade) des 5. IPCC Sachstandsberichts
RE	R egionale x press: Zuggattung der DB Netz AG
SGV	S chienen g üterverkehr
SPFV	S chienen p ersonen f ernverkehr
SPNV	S chienen p ersonen n ahverkehr
SPV	S chienen p ersonenverkehr
SSP	<i>Shared Socioeconomic Pathway</i> - Szenarien der sozioökonomischen Entwicklung des 5. IPCC Sachstandsberichts
TEU	T wenty-foot E quivalent U nit
WSV	W asserstraßen- und S chifffahrts v erwaltung des Bundes

9 Anhang

9.1 Weitere Tabellen

Anlage 1: Schienengüterverkehr nach Gütergruppen über Oberwesel in Tonnen/Jahr für das Analysejahr 2010.

Gütergruppe	in 1.000 t	in %
10 - Land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse	397,6	3,9 %
21 - Steinkohle	690,6	6,9 %
22 - Braunkohle	166,3	1,7 %
23 - Erdöl und Erdgas	0,0	0,0 %
33 - Steine und Erden, sonstige Bergbauern,	443,9	4,4 %
40 - Nahrungs- und Genussmittel	89,4	0,9 %
50 - Textilien, Bekleidung Leder, Lederwaren	0,2	0,0 %
60 - Holz und Kork, Papier, Pappe, Druckerzeugnisse	229,1	2,3 %
71 - Koks	5,9	0,1 %
72 - Mineralölerzeugnisse	326,5	3,2 %
80 - Chemische Erzeugnisse	1.130,8	11,2 %
90 - Sonstige Mineralerzeugnisse	78,9	0,8 %
100 - Metalle und Halbzeug	1.014,7	10,1 %
110 - Maschinen und Geräte, optische Erz., Uhren	39,7	0,4 %
120 - Fahrzeuge	164,2	1,6 %
130 - Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sport, Spiel	0,8	0,0 %
140 - Sekundärrohstoffe, Abfälle	175,2	1,7 %
160 - Geräte und Material für Güterbeförderung	36,8	0,4 %
170 - Umzugsgut, sonstige, nichtmarktbest. Güter	0,8	0,0 %
180 - Sammelgut	58,0	0,6 %
190 - Gutart unbekannt	5.032,0	49,9 %
Summe	10.081,5	100,0 %

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Anlage 2: Von der Schiene aus Kapazitätsgründen auf den Lkw verlagerte Verkehre im Falle einer Sperrung bei Oberwesel (in Tonnen/Tag; Analyse 2010).

	Ausgangsbasis (von der Sperrung betroffene Schienenverkehre)		Verlagerte Verkehre (Schiene → Straße)	
	Tonnen/Tag	Verteilung in %	Tonnen/Tag	Verteilung in %
Landw. Erzeugnisse	871	22 %	871	29 %
Steinkohle	829	21 %	0	0 %
Braunkohle	172	4 %	172	6 %
Rohöl	0	0 %	0	0 %
Erze	0	0 %	0	0 %
Düngemittel	195	5 %	195	7 %
Steine, Erden	174	4 %	174	6 %
Nahrungsmittel	193	5 %	193	6 %
Textilien	0	0 %	0	0 %
Papier	166	4 %	166	6 %
Koks	1	0 %	0	0 %
Mineralölprodukte	166	4 %	0	0 %
Chemie	299	8 %	299	10 %
Mineralprodukte	36	1 %	36	1 %
Eisen und Stahl	382	10 %	382	13 %
EBM-Waren	104	3 %	104	3 %
Fahrzeuge	42	1 %	42	1 %
Halb- und Fertigprodukte	2	0 %	2	0 %
Recycling	325	8 %	325	11 %
Post	0	0 %	0	0 %
Beförderungsgüter	0	0 %	0	0 %
Umzugsgüter	0	0 %	0	0 %
Sammelgüter	7	0 %	8	0 %
sonstige Waren	16	0 %	16	1 %
Summe	3.980	100 %	2.985	100 %

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Anlage 3: Binnenschiffsgüterverkehr über Oberwesel nach Gütergruppen in Tonnen/Jahr sowie betroffenes Verkehrsaufkommen in Tonnen während des 21-tägigen Stresstestes „Hochwasser“ (Analyse 2010).

Gütergruppe	Binnenschiffsverkehr im Jahr in 1.000 t	betroffenes Verkehrsaufkommen während des Hochwassers in 1.000 t ⁵¹	Anteil betroffener Verkehre in %
Landw. Erzeugnisse	5.623	337	14 %
Steinkohle	6.668	0	0 %
Braunkohle	2	0	0 %
Rohöl	260	0	0 %
Erze	849	0	0 %
Düngemittel	469	28	1 %
Steine, Erden	4.404	264	11 %
Nahrungsmittel	3.474	208	9 %
Textilien	27	2	0 %
Papier	1.096	66	3 %
Koks	391	0	0 %
Mineralölprodukte	12.631	0	0 %
Chemie	8.951	537	22 %
Mineralprodukte	1.437	86	4 %
Eisen und Stahl	2.668	160	7 %
EBM-Waren	254	15	1 %
Fahrzeuge	509	31	1 %
Halb- und Fertigprodukte	73	4	0 %
Recycling	4.644	279	12 %
Beförderungsgüter	867	52	2 %
Umzugsgüter	2	0	0 %
sonstige Waren	5.744	345	14 %
Summe	61.043	2.415	100 %

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

⁵¹ Auch bei der Binnenschiffahrt wird von 18 Verkehrstagen ausgegangen (siehe Tabelle 2-9).

Anlage 4: Verteilung des vom Hochwasser betroffenen Binnenschiffsgüterverkehrs nach Gütergruppen und Verkehrsträger in 1.000 Tonnen für die gesamte Hochwasserperiode (Analyse 2010).

Gütergruppe	betroffenes Aufkommen in 1.000 t	verlagert auf Bahn in 1.000 t	verlagert auf Straße in 1.000 t
Landw. Erzeugnisse	337,4	187,5	149,9
Steinkohle	0,3	0,0	0,3
Braunkohle	0,1	0,0	0,1
Rohöl	0,0	0,0	0,0
Erze	0,0	0,0	0,0
Düngemittel	28,1	11,0	17,2
Steine, Erden	264,3	149,1	115,2
Nahrungsmittel	208,4	116,3	92,1
Textilien	1,6	0,5	1,1
Papier	65,8	20,2	45,5
Koks	0,2	0,0	0,2
Mineralölprodukte	0,4	0,0	0,4
Chemie	537,0	193,6	343,4
Mineralprodukte	86,2	36,0	50,2
Eisen und Stahl	160,1	91,4	68,7
EBM-Waren	15,2	9,6	5,6
Fahrzeuge	30,5	19,2	11,3
Halb- und Fertigprodukte	4,4	2,6	1,8
Recycling	278,6	167,8	110,8
Beförderungsgüter	52,0	28,4	23,6
Umzugsgüter	0,1	0,1	0,0
sonstige Waren	344,6	249,5	95,2
Summe	2.415,4	1282,8	1.132,6

Quelle: TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH

Überblick über die Schlussberichte zur 1. Forschungsphase (2016–2019) des Themenfelds 1 „Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen“ im BMVI-Expertennetzwerk

- **TF1-Endbericht:** BMVI-Expertennetzwerk (2020) Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.
- **Auswerterahmen:** Hänsel S, Brendel C, Fleischer C, Ganske A, Haller M, Helms M, Jensen C, Jochumsen K, Möller J, Krähenmann S, Nilson E, Rauthe M, Rasquin C, Rudolph E, Schade N, Stanley S, Wachler B, Deutschländer T, Tinz B, Walter A, Winkel N, Krahe P und Höpp S (2020) Vereinbarungen des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk zur Analyse von klimawandelbedingten Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre. DOI: 10.5675/ExpNHS2020.2020.01)
- **SP-101:** Brienens S., Walter A., Brendel C., Fleischer C., Ganske A., Haller M., Helms M., Höpp S., Jensen C., Jochumsen K., Möller J., Krähenmann S., Nilson E., Rauthe M., Razafimaharo C., Rudolph E., Rybka H., Schade N., Stanley K. (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02
- **SP-102:** Hänsel S, Brendel C, Forbriger M, Herrmann C, Hillebrand G, Kirsten J, Klose M, Lohrengel A-F, Meine L, Nilson E, Ork J-P, Patzwahl R, Rauthe M und Schade NH (2020) Klimawirkungsanalyse für die Bundesverkehrswege – Methodik und erste Ergebnisse. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Klimawirkungsanalyse (SP-102) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNHS2020.2020.03
- **SP-103:** Rauthe M, Brendel C, Helms M, Lohrengel A-F, Meine L, Nilson E, Norpoth M, Rasquin C, Rudolph E, Schade NH, Deutschländer T, Fleischer C, Forbriger M, Ganske A, Herrmann C, Kirsten J, Möller J und Seiffert R (2020) Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext Hochwasser - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hochwassergefahren (SP-103) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNRM2020.2020.04
- **SP-104:** Bott F, Lohrengel A-F, Forbriger M, Ganske A, Haller M und Herrmann C (2020) Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext von Stürmen - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Sturmgefahren (SP-104) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNBF2020.2020.05
- **SP-105:** Lohrengel A-F, Brendel C, Herrmann C, Kirsten J, Forbriger M, Klose M und Stube K (2020) Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext gravitativer Massenbewegungen - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hangrutschungen (SP-105) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNLA2020.2020.06
- **SP-106:** Nilson E, Astor B, Bergmann L, Fischer H, Fleischer C, Haunert G, Helms M, Hillebrand G, Höpp S, Kikillus A, Labadz M, Mannfeld M, Razafimaharo C, Patzwahl R, Rasquin C, Rauthe M, Riedel A, Schröder M, Schulz D, Seiffert R, Stachel H, Wachler B und Winkel N (2020) Beiträge zu einer verkehrsträgerübergreifenden Klimawirkungsanalyse: Wasserstraßenspezifische Wirkungszusammenhänge - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Schiffbarkeit und Wasserbeschaffenheit (SP-106) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNNE2020.2020.07
- **SP-107:** Norpoth M, Patzwahl R, Seiffert R, Bergmann L, Forbriger M, Hänsel S, Hatz M, Herrmann C, Hillebrand G, Lifschiz E, Lohrengel A-F, Nilson E, Ork J, Schade N, Schulz D, Stachel H und Wachler B (2020) Konzeptionelle Beiträge zur Auseinandersetzung mit der Anpassung des Bundesverkehrswegesystems an den Klimawandel - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Anpassungsoptionen (SP-107) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNNM2020.2020.08
- **SP-108:** Schade N, Hüttl-Kabus S, Ebner von Eschenbach A-D, Hohenrainer J, Jensen C, Möller J, Rasquin C, Wachler B, Ganske A und Heinrich H (2020) Klimaänderungen und Klimafolgenbetrachtung für das Bundesverkehrssystem im Küstenbereich - Schlussbericht des Schwerpunktthemas Fokusgebiete Küsten (SP-108) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNSN2020.2020.09
- **SP-109:** Hänsel S, Nilson E, Patzwahl R, Forbriger M und Klose M (2020) Stresstestszenarios Mittelrhein: Einflüsse von Wetter- und Klimaextremen auf überregionale Verkehrsströme – Schlussbericht des Schwerpunktthemas Fokusgebiete Binnen (SP-109) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNHS2020.2020.10
- **Glossar:** BMVI-Expertennetzwerk (2020): Glossar des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk., DOI: 10.5675/ExpNBMVI2020.2020.11