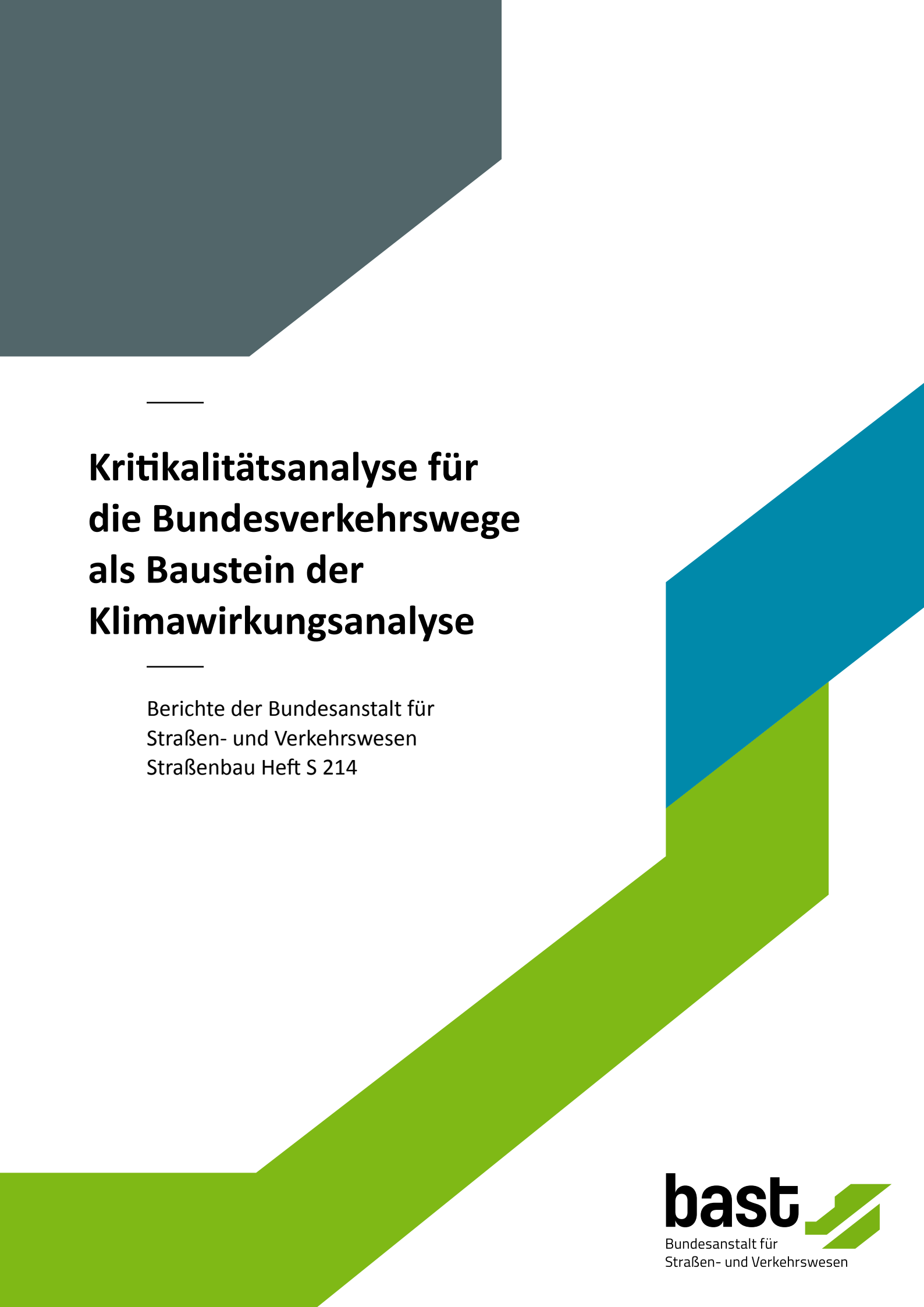




Kritikalitätsanalyse für die Bundesverkehrswege als Baustein der Klimawirkungsanalyse

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Straßenbau Heft S 214

Kritikalitätsanalyse für die Bundesverkehrswege als Baustein der Klimawirkungsanalyse

von

Robert Burg, Leon Franken, Karl Gebhardt, Sonja Hewel, Stefan Schrempp
SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH, Köln

Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der BASt, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG bezogen werden. Seit 2015 stehen sie zusätzlich als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung: <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 69.0003
Kritikalitätsanalyse für die Bundesverkehrswege
als Baustein der Klimawirkungsanalyse

Fachbetreuung:
Ettore Potente

Referat:
Nachhaltiges Bauen und Erhalten von Straßen

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck, Verlag und Produktsicherheit:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323 | ISBN 978-3-95606-832-4 | <https://doi.org/10.60850/bericht-s214>

Bergisch Gladbach, Februar 2025

Die vorliegende Studie wurde im Rahmen des BMDV-ExpertenNetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) finanziert.

Das BMDV-ExpertenNetzwerk ist ein verkehrsträger- und behördenübergreifendes Forschungsformat in der Ressortforschung des BMDV. Unter dem Leitmotiv „Wissen – Können – Handeln“ haben sich sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) 2016 zu einem Netzwerk zusammengeschlossen. Ziel ist es, drängende Verkehrsfragen der Zukunft in den Bereichen Klimawandel, Umweltschutz, zuverlässige Infrastruktur, Digitalisierung, erneuerbare Energien und verkehrswirtschaftliche Analysen zu erforschen.

Kurzfassung – Abstract

Kritikalitätsanalyse für die Bundesverkehrswege als Baustein der Klimawirkungsanalyse

Gesamtziel des Forschungsprojektes ist die Bestimmung der Kritikalität von Streckenabschnitten der Bundesverkehrswege des Bestandsnetzes. Kritikalität wird dabei als „relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Infrastruktur in Bezug auf die Konsequenzen, die eine Störung oder ein Funktionsausfall für die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen“¹ hat, verstanden.

Die Bestimmung der Kritikalität geschieht vor dem Hintergrund des Themenfeldes 1 (TF1) „Klimawandelfolgen und Anpassung“ zur Bewertung der Folgen des Klimawandels auf das Bundesverkehrssystem, das im BMVI-Expertenetzwerk betrachtet wird.

Nachdem in der ersten Phase des BMVI-Expertenetzwerks der Fokus zur Kritikalitätsbestimmung auf Indikatoren lag, welche die Verkehrsmenge adressierten, sollen diese Indikatoren nun ergänzt und um nicht verkehrsmengenbezogene Indikatoren erweitert werden. Dies soll zwar verkehrsträgerspezifisch erfolgen, die Intermodalität soll jedoch ebenfalls und insbesondere berücksichtigt werden. Die verkehrsträgerübergreifenden Zusammenhänge des Bundesverkehrssystems sollen erfasst und analysiert werden, um anschließend intermodale Kritikalitätsindikatoren zu bilden, die eine Einordnung jedes Streckenabschnitts im Bundesverkehrswegenetzes zu einer bestimmten Kritikalitätsstufe zu ermöglichen.

Nachdem im ersten Teil zunächst die wissenschaftlichen Grundlagen und der Stand der Technik im Hinblick auf das Vorhaben gesichtet, sowie auf anwendbare Inhalte überprüft werden, wird eine Bestandsaufnahme durchgeführt, welche die Datenbasis für das Forschungsprojekt darstellt. Hierzu werden die Daten und Lagen der zu prüfenden Bundesverkehrswegenetze aufgenommen, verortet und für die Analyse vorbereitet. Darüber hinaus wird geprüft, in welcher Form und Qualität die Daten für potenzielle Indikatoren vorliegen oder zu erheben sind.

Im nächsten Schritt werden die potenziellen Indikatoren für die Kritikalitätseinstufung zusammen mit dem forschungsbegleitenden Fachkreis diskutiert und definiert.

Über die Verkehrsstärke als offensichtlichster Indikator hinaus werden raumordnerische, gesamtwirtschaftliche und sicherheitsrelevante Aspekte berücksichtigt.

Nach Definition der passenden Indikatoren werden diese den Streckennetzen zugeordnet, sofern sie schon vorlagen oder ermittelt.

Nach Zuordnung der Indikatoren zu den Streckenelementen der Verkehrsträger werden diese einer Relevanzanalyse unterzogen, die zu einer Gewichtung führen, die in die additive Auswertung der Kritikalitätsindikatoren je Streckenabschnitt einfließen.

Das Ergebnis wirkt plausibel. Die Einstufung hoher Kritikalität orientiert sich an bekannten Routen. Im Straßenbereich liegt die größte Kritikalität auf den Bundesautobahnen. Das begründet sich natürlich auch in der Indikatorenwahl, da z. B. der Großteil strategischer Netze über Autobahnen geführt wird (TEN-V, Main Supply Routes etc.). Es sind jedoch

¹ Bundesministerium des Innern: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen, 2009, S. 5 (zitiert nach der Leistungsbeschreibung)

durch die zusätzliche Betrachtung z. B. der Umwegigkeit und Zeitdifferenz durch Streckensperrungen andere Aspekte mit eingeflossen. Dies kann für die weitere Bearbeitung mit dem erstellten Modell im Fokus behalten werden. Hier kann durch Veränderung der Gewichtung oder die Neuzusammenstellung der bekannten Indikatoren auch eine alternative Kritikalitätsbewertung erstellt werden, die sich weniger auf die Bundesautobahnen bezieht. Dies kann z. B. interessant sein, wenn nur die Bundesstraßen miteinander verglichen werden sollen.

Grundsätzlich ändert das natürlich nicht das Fazit, das im Gesamtkontext der Betrachtung der Bundesfernstraßen gezogen werden muss. Dieses besagt nämlich, dass die derzeitige Einstufung der Kritikalität, bei der eingangs beschriebenen Interpretation des Begriffs der „Kritikalität“, logischerweise die großen und viel befahrenen Verkehrsachsen mit besonders hoher Kritikalität belegen muss, da deren Ausfall einen besonders hohen Effekt auf verschiedene Bereiche der Gesellschaft hat.

Als direkter Nutzen des Projektes wird die Zuarbeit für den dritten Baustein der Klimawirkungsanalyse (s. o.) im TF1 des BMVI-Expertennetzwerks genannt, dessen Ergebnisse in ihrer Gesamtheit auch in den Prozess der Deutschen Anpassungsstrategie einfließen. Außerdem besteht Nutzen für die „Sicherheitsstrategie Güterverkehr und Logistik“ des BMVI für Betrachtungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Zu guter Letzt wird noch der Nutzen für die Betreiber der Verkehrsinfrastruktur angeführt, die anhand der Ergebnisse Priorisierungen von Planungen und Erhaltungsmaßnahmen vornehmen können und somit ein gutes Werkzeug an die Hand geliefert bekommen.

Criticality analysis for federal transportation routes as a component of the climate impact analysis

The overall objective of this research project is to determine the criticality of sections of the existing federal transport network. In this context, the consideration of intermodality and its impact on criticality is relevant.

Criticality refers to a relative measure of the importance of infrastructure with regard to the consequences that a disruption or its functional failure has for society's security of supply with important goods and services.²

This research project is embedded in the topic area 1 (TF1) "Climate change impacts and adaptation" for assessing the consequences of climate change on the federal transport system, which is considered in the BMVI expert network.

In the first phase of the BMVI expert network, the determination of criticality was focused on indicators that addressed traffic volume, but these indicators are now to be complemented and expanded to include indicators that are not related to traffic volume. Although this is to be done on a mode-specific basis, intermodality is to be taken into account as well and in particular. The intermodal interrelationships of the federal transportation system are to be recorded and analyzed in order to subsequently form intermodal criticality indicators that allow each route segment in the federal transportation network to be classified at a specific criticality level.

² Bundesministerium des Innern: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen, 2009, S. 5 (quoted according to the service description)

In the first part of the project, the scientific basis and the state of the art with regard to the project are reviewed and checked for applicable contents. For this purpose, the data and locations of the federal transport route networks to be examined are recorded, located and prepared for analysis. In addition, the form and quality in which the data for potential indicators are available or need to be collected are examined. In addition, the form and quality of data available or to be collected is examined.

In the next step, potential indicators for the criticality classification are discussed and defined together with the expert group accompanying the research.

Beyond traffic volume as the most obvious indicator, spatial planning, macroeconomic and safety aspects are taken into account.

After defining the appropriate indicators, if already existent, they are assigned to the route networks, otherwise the required data needs to be collected first.

After the indicators have been assigned to the route elements of the transport modes, they are subjected to a relevance analysis, which results in a weighting that is used in the additive evaluation of the criticality indicators for each route section.

The result seems plausible. The classification of high criticality is based on known routes. In the road sector, the greatest criticality lies on the federal highways. Of course, this is also due to the choice of indicators, since, for example, the majority of strategic networks are routed via freeways (TEN-T, Main Supply Routes, etc.). However, other aspects are included by the additional consideration of e.g. detours and time differences due to route closures. This can be kept in mind for further works with the created model. Here, by changing the weighting or recompiling the known indicators, an alternative criticality assessment can also be created that is less related to federal highways. This can be interesting, for example, if only federal highways are to be compared.

In principle, of course, this does not change the conclusion that must be drawn in the overall context of the consideration of the federal highways. This is that the current classification of criticality, with the interpretation of the term “criticality” described at the beginning, must logically assign particularly high criticality to the large and busy traffic axes, since their failure has a particularly high effect on various areas of society.

A direct benefit of the project is the contribution to the third component of the climate impact analysis (see above) in TF1 of the BMVI expert network, the results of which are also incorporated in their entirety into the process of the German Adaptation Strategy. In addition, there are benefits for the BMVI’s “Freight Transport and Logistics Safety Strategy” for considerations regarding the reliability of the overall system. Last but not least, there is the benefit for the transport infrastructure operators, who can use the results to prioritize planning and maintenance measures and thus have a good tool at hand.

Summary

Criticality analysis for federal transportation routes as a component of the climate impact analysis

1 Aim

The overall objective of this research project is to determine the criticality of sections of the existing federal transport network. In this context, the consideration of intermodality and its impact on criticality is relevant.

Criticality refers to a relative measure of the importance of infrastructure with regard to the consequences that a disruption or its functional failure has for society's security of supply with important goods and services.¹

This research project is embedded in the topic area 1 (TF1) "Climate change impacts and adaptation" for assessing the consequences of climate change on the federal transport system, which is considered in the BMVI expert network. In the first phase of the BMVI expert network, a concept for a climate impact analysis for transport systems was developed.

The following aspects are considered by the climate impact analysis:

- (1) Analysis of the exposure of the transport infrastructure to climate change and extreme weather events.
- (2) Analysis of the sensitivity of the transportation infrastructure to the climate impacts considered.
- (3) Analysis of the criticality of sections of federal transportation routes.

In the first phase of the BMVI expert network, the determination of criticality was focused on indicators that addressed traffic volume, but these indicators are now to be complemented and expanded to include indicators that are not related to traffic volume. Although this is to be done on a mode-specific basis, intermodality is to be taken into account as well and in particular. The intermodal interrelationships of the federal transportation system are to be recorded and analyzed in order to subsequently form intermodal criticality indicators that allow each route segment in the federal transportation network to be classified at a specific criticality level.

¹ Bundesministerium des Innern: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen, 2009, S. 5 (quoted according to the service description)

2 Research methodology

The research project is divided into five main topics:

- TOP 1: Literature analysis and basic research
- TOP 2: Criticality indicators for railways
- TOP 3: Criticality indicators for road
- TOP 4: Criticality indicators for all modes of transport (rail, road, waterway)
- TOP 5: Formation of indicators and application to the transport network

In the first part of the project, the scientific basis and the state of the art with regard to the project are reviewed and checked for applicable contents. For this purpose, the data and locations of the federal transport route networks to be examined are recorded, located and prepared for analysis. In addition, the form and quality in which the data for potential indicators are available or need to be collected are examined. In addition, the form and quality of data available or to be collected is examined.

In the next step, potential indicators for the criticality classification are discussed and defined together with the expert group accompanying the research.

Beyond traffic volume as the most obvious indicator, spatial planning, macroeconomic and safety aspects are taken into account.

After defining the appropriate indicators, if already existent, they are assigned to the route networks, otherwise the required data needs to be collected first. For example, there are existing indicators such as the TEN-T network, which is available in its defined form and only needs to be assigned to the network elements, and on the other hand, there are indicators such as travel time increases due to route failures, which first need to be determined on a model basis.

In order to determine these effects, traffic assignments have been carried out with the help of a traffic model, which allow for a difference analysis. Basically, the method consists of performing a reference traffic model in which all routes are open and the best routes are determined. In comparison, all sections of the federal trunk roads are then successively closed. The new route choices are then analysed and the differences in terms of time and distance are determined.

After the indicators have been assigned to the route elements of the transport modes, they are subjected to a relevance analysis, which results in a weighting that is used in the additive evaluation of the criticality indicators for each route section.

3 Results

The following indicators are defined for the route networks:

Indicator	Street	Railway	Intermodality
Connection function levels	X		X
Traffic volume	X	X	X
Traffic volume Freight traffic	X	X	X
Share of freight traffic Logistikzentrum	X	X	X
Gross value added	X	X	X
TEN-T	X	X	X
Rest areas	X		X
Traffic control systems	X		X
Time lost due to failure	X		X
Rail freight corridors		X	X
CT terminals	X	X	X
Ports	X	X	X
Logistics centers	X	X	X
740 meter network		X	X
Main Supply Routes	X		X
Military road base network and main civil base network	X		X
Electrification		X	X
Usage (passenger or freight)		X	X
Speed		X	X
Number of tracks		X	X
Major bridges (rail) and critical bridges (road)	X	X	X
Lack of alternatives			X
Cluster location			X
Category of adjacent waterway			X

The indicators mentioned are transferred to the respective mode of transport and assigned to the route elements. Within the individual indicator, the range of expression is checked and a point system is created to classify the criticality (e.g. Table 3-1). Another option is the binary classification, e.g., for the classification of Main Supply Routes, to evaluate whether the route element belongs to the category or not (see Table 3-2). The ratings are then transferred additively together with the other indicators, resulting in an overall indicator for each route element. The weighting of the individual indicators is determined with the help of the relevance analysis.

Trains per day	Criticality classification
< 100	0
100 - 200	1
> 200	2

Table 3-1: Example of the classified classification of the criticality of an indicator

Element of the Main Supply Routes	Criticality classification
no	0
yes	1

Table 3-2: Example of a binary classification of the criticality of an indicator

Care has been taken to achieve a maximum criticality value of 2 for each classifiable indicator. Since the binary classifications of the indicators have been evaluated as either 0 or 1, this has prevented too much deviation from these scores. Thus, there is the binary scoring “yes/no”, which is translated into the digits 1 and 0 and is to be interpreted as “critical” versus “non-critical”. The classifiable indicators are then divided into the digits 0 to 2, which thus mean “uncritical”, “somewhat critical” and “very critical”.

In order to be able to classify the indicators, two further assessments are made. First, an assessment is made of various topics such as data quality.

Secondly, a relevance analysis is carried out to show the importance of the indicators for certain topics and to derive a weighting from this.

For the relevance analysis, the mentioned indicators are assessed in terms of their importance for four different factors. The criteria of importance for the individual, for the society’s supply with goods and services, for the economy as a whole and for security are considered. In each case, a value is assigned if there is significance for this criterion and no value is assigned if no particular significance is assumed by the indicator. The results were then examined and their plausibility discussed. As a result, it has become clear that due to the low result for safety-relevant indicators such as the Main Supply Routes, a higher weighting of the criterion “safety” should be assumed, also with regard to the current political situation, and the value should be doubled accordingly.

For the evaluation of the cross-modal criticality, a synopsis of the individual transport modes rail, road and waterway is prepared. Therefore, mainly the indicators of rail, road and waterway are included in the analysis in the form of their overall result. Only the lack of alternatives and the cluster location of intermodal connection points are additionally used as new indicators. No comparable relevance analysis can be made for these indicators, since the relevance of the intermodal connection points themselves have already been included in the analysis. Accordingly, these indicators are no longer weighted.

For the transfer into the criticality evaluation, the results of the relevance analysis are transferred into four categories, each of which is assigned a weighting factor.

Relevance analysis result	Weighting factor
4-5	1
3	0,75
2	0,5
1	0,25

Table 3-3: Transfer of the relevance analysis into a weighting factor for the criticality analysis

Indicator	Relevance analysis street					Weighting for criticality assessment
	Relevance					
	Individual	Supply	Economy	Safety	Total	
VFS O or I	1	1	1	2	5	1
Military road base network / main civil road base network	1	1	1	2	5	1
Critical bridges	1	1	1	2	5	1
Time difference in case of failure on average per relation >= 15 min	1	1	1	2	5	1
Total time difference in case of failure >= 6,000 min	1	1	1	2	5	1
Traffic control facilities	1	1	1	2	5	1
CT terminal		1	1	2	4	1
Service area	1	1	1	0	3	0,75
Logistics center	1	1	1		3	0,75
Total traffic volume	1	1	1		3	0,75
Traffic volume freight traffic		1	1		2	0,5
Share of freight traffic		1	1		2	0,5
Gross value added >= 60 billion		1	1		2	0,5
TEN		1	1		2	0,5
BGL alternative routes for truck traffic		1	1		2	0,5
Main Supply Routes				2	2	0,5

Table 3-4: Relevance analysis (here as an example for the road mode of transport)

A quality analysis has been carried out to determine the resilience of the indicators. For this purpose, the common quality indicators completeness, availability, timeliness, correctness, consistency and accuracy have been used and the existing data on which the criticality indicators are based have been evaluated.

Derived from the preceding considerations, the indicators have been subjected to a review. For the classification of the intermodal criticality, the intermodal connection points have been considered. For these, it was examined which modes of transport are handled. The criticality is derived from the values of the feeder routes. Since there is already a criticality classification for the waterway, this was used for this purpose. Following this, the criticality for rail and road has also been determined first, in order to then carry out a combination of the criticality of the transport modes for the intermodal connection point.

In addition, the following criticality indicators were determined:

- (1) lack of alternatives for the interconnection point.
- (2) Cluster location of the interconnection point.

Table 3-5 shows the number of linkage points within the criticality classification of the feeder routes of the corresponding modes.

Criticality level	Rail feeder line	Road feeder line	Waterway feeder line
1	40	82	4
2	100	142	28
3	140	61	164
Total	280	285	196

Table 3-5: Number of linkage points within the respective criticality classification of the feeder routes

For the summary of the results and the determination of an overall criticality for the intermodal connection points, the results of the three transport modes are brought into a common evaluation concept. While the waterway has six categories (A-F) based on e.g. transport volume per year and usage, rail has a score range from 0 to 9 and road has a range from 0 to 12.

Following this, additional consideration is given to the classification in terms of cluster location and lack of alternatives. For each intermodal connection point, a result is obtained from the sum of the classification of the three transport modes, as well as the binary query of the cluster location and the lack of alternatives, which is added. The result again yields a new evaluation bandwidth, which is now again translated into the three-stage criticality evaluation.

The final result shapes itself as follows:

Criticality evaluation	Number of intermodal connection points
1: low criticality	16
2: medium criticality	147
3: special criticality	122
Total	285

Table 3-6: Number and criticality of intermodal connection points

The developed model can be filled with current data at any time and the criticality assessment can be redetermined. The network model for the federal trunk roads (NEMOBFStr) offers the possibility of regularly adding new data via the interface with the Federal Information System for Roads (BISStra), and the NEMOBFStr itself is also updated annually in many subject areas and can thus regularly contribute to an update of the criticality assessment. The DB rail network can also be refilled and interpreted as new data is published. An annual check for changes in the area is necessary for this.

The model additionally provides the ability to change classifications and vary weightings. As mentioned in advance, in the current context the criterion of safety was weighted higher in the relevance analysis. This can also be adjusted if the context changes.

4 Conclusion for practice

The result seems plausible. The classification of high criticality is based on known routes. In the road sector, the greatest criticality lies on the federal highways. Of course, this is also due to the choice of indicators, since, for example, the majority of strategic networks are routed via freeways (TEN-T, Main Supply Routes, etc.). However, other aspects are included by the additional consideration of e.g. detours and time differences due to route closures. This can be kept in mind for further works with the created model. Here, by changing the weighting or recompiling the known indicators, an alternative criticality assessment can also be created that is less related to federal highways. This can be interesting, for example, if only federal highways are to be compared.

In principle, of course, this does not change the conclusion that must be drawn in the overall context of the consideration of the federal highways. This is that the current classification of criticality, with the interpretation of the term “criticality” described at the beginning, must logically assign particularly high criticality to the large and busy traffic axes, since their failure has a particularly high effect on various areas of society.

A direct benefit of the project is the contribution to the third component of the climate impact analysis (see above) in TF1 of the BMVI expert network, the results of which are also incorporated in their entirety into the process of the German Adaptation Strategy. In addition, there are benefits for the BMVI’s “Freight Transport and Logistics Safety Strategy” for considerations regarding the reliability of the overall system. Last but not least, there is the benefit for the transport infrastructure operators, who can use the results to prioritize planning and maintenance measures and thus have a good tool at hand.

At present, more indicators are available for the “road” mode of transport, the model-based calculation of the indicators is possible here and the range of results is also different from that for the “rail” mode. It has been discussed whether it can be permissible that there are inequalities in the choice of indicators between the modes of transport. Basically, due to the heterogeneous data situation, it must be expected that there are differences here and this does not have to be assessed negatively. It should be sufficient that criticality within the transport mode is comparable. After all, the criticality for the mode of transport “waterway” has already been determined with the help of certain indicators, which may not correspond to those used here.

Nevertheless, it is clear that the aim should be to leave out as little as possible within a mode of transport and to consider the entirety of the route elements as globally as possible.

Inhalt

1	Einleitung	16
2	Gesamtziel	20
3	Methodik des Vorgehens	22
4	AP 1: Literaturanalyse und Grundlagenaufnahme	23
4.1	Kritikalität	24
4.2	Kritikalität von Verkehrswegen	25
4.3	Indikatoren der Kritikalität	25
4.4	Bestimmung von Umwegigkeiten in Verkehrsnetzen	26
4.5	Multimodalität und Intermodalität	26
4.6	Interdependenzen von Verkehrsträgern	27
4.7	Rahmenvorgaben	28
4.8	Grundlagennetze	29
4.8.1	NEMOBFStra	29
4.8.2	BISStra – Bundesinformationssystem Straße	29
4.8.3	Schienennetz der DB Netz AG	30
5	AP 2 – 4: Kritikalitätsindikatoren – synoptische Einleitung	31
5.1	Die Indikatoren und ihre Verwendung	32
5.1.1	Verbindungsfunktionsstufen (Straße)	32
5.1.2	Verkehrsstärke (Straße: DTV, Schiene: Zugbelastung)	35
5.1.3	Verkehrsstärke Güterverkehr (Straße: DTV Güterverkehr, Schiene: Zugbelastung Güterverkehr)	35
5.1.4	Anteil Güterverkehr (Straße/Schiene)	35

5.1.5	Bruttowertschöpfungswert der transportierten Waren (Straße/Schiene)	36
5.1.6	TEN-V (Straße/Schiene)	36
5.1.7	Rastanlagen (Straße)	39
5.1.8	Verkehrsbeeinflussungsanlagen (Straße)	41
5.1.9	Zeitverlust durch Ausfall des Netzelementes (Straße)	43
5.1.10	Schienengüterverkehrskorridore (Schiene)	44
5.1.11	Häfen (Straße/Schiene), KV-Terminals (Straße/Schiene) und Logistikzentren (Straße/Schiene)	45
5.1.12	740-Meter-Netz (Schiene)	47
5.1.13	Main Supply Routes (Straße)	49
5.1.14	Militärstraßengrundnetz und Hauptzivilgrundnetz (Straße)	49
5.1.15	Elektrifizierung (Schiene)	50
5.1.16	Nutzung (Schiene)	52
5.1.17	Geschwindigkeit (Schiene)	54
5.1.18	Gleisanzahl (Schiene)	56
5.1.19	Große Brücken und kritische Brücken (Straße/Schiene)	58
5.1.20	BGL-Ausweichstrecken	58
5.1.21	Alternativlosigkeit (Intermodalität)	58
5.1.22	Clusterlage (Intermodalität)	60
5.2	Anwendung der Indikatoren auf die Streckennetze	61
5.2.1	Bewertung der Indikatoren für den Verkehrsträger Schiene	62
5.2.2	Bewertung der Indikatoren für den Verkehrsträger Straße	65
5.2.3	Relevanzanalyse und Gewichtung der Indikatoren für die Verkehrsträger	67
5.2.4	Belastbarkeit der Indikatoren	69
5.3	AP 2: Ergebnisse für die Schiene	72
5.4	AP 3: Ergebnisse für die Straße	75
5.5	AP 4: Ergebnisse verkehrsträgerübergreifend (Schiene, Straße, Wasserstraße)	79
5.6	Weiterentwicklung der Ergebnisse und Erstellung und Pflege eines Kritikalitätsmodells	87
6	Fazit und Ausblick	88
6.1	Fazit	88
6.2	Ausblick	89

Literatur	90
Bilder	93
Tabellen	95

1 Einleitung

Eine leistungsstarke und funktionsfähige Verkehrsinfrastruktur stellt das Rückgrat moderner, arbeitsteiliger Gesellschaften dar, welche dazu dient, komplexe Mobilitätsansprüche zur Erfüllung von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aktivitäten zu erfüllen. Eine stetige Zunahme von Transportleistungen, angetrieben von zunehmenden Verflechtungen internationaler Beziehungen sowie veränderten Lebens- und Mobilitätsmustern, stellt immer höhere Anforderungen an die Verkehrssysteme, die einzelnen Verkehrsträger sowie deren Leistungsfähigkeit und Verlässlichkeit.

Beeinträchtigungen dieser Verkehrssysteme können weitreichende Folgen für die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit haben, welche wiederum Auswirkungen auf weitere Schlüsselfunktionen der Verkehrsinfrastruktur haben können. Um die Funktionsfähigkeit der modernen Gesellschaft auch im Krisenfall zu gewährleisten und negative Auswirkungen durch Versorgungsengpässe oder die Beeinträchtigung der öffentlichen Sicherheit so gering wie möglich zu halten, zeichnen sich insbesondere jene Infrastrukturen durch eine besondere Funktion aus, welche für den Erhalt dieses Zustandes von essentieller Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang hat sich der Begriff der „Kritischen Infrastrukturen“ etabliert, der die Infrastrukturen beschreibt, bei deren Beeinträchtigung oder Ausfall nachhaltige Störungen des staatlichen Gemeinwesens zu erwarten sind.¹ Aufgrund der Systemrelevanz kritischer Verkehrsinfrastrukturen und ihrer volkswirtschaftlichen Vermögenswerte stellt der Ausfall einer solchen eine große Gefahr für das Gesamtsystem dar.^{2 3} Dabei besteht die eigentliche Gefahr weniger im reinen Ausfall, sondern viel mehr in den dadurch verursachten Folgeschäden für die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Versorgung von Staat und Gesellschaft.⁴

Maßgebliche Rollen bei der Gefährdung von Verkehrsinfrastrukturen kommen dabei dem Einfluss des Klimawandels sowie extremen Wetterereignissen zu. Verschiedene solcher Ereignisse der letzten Jahre führten auch in Deutschland mehrfach zu starken Beeinträchtigungen von Verkehrsinfrastrukturen, wodurch das Bewusstsein für die Auswirkungen durch extreme Wetterereignisse bei Bevölkerung und Behörden geschärft wurde.⁵ Neben den Klimaschutzmaßnahmen, wie der Minderung des anthropogenen Ausstoßes von Treibhausgasen, wird aufgrund der nicht mehr vermeidbaren Klimafolgen im Hinblick auf die Verminderung von Auswirkungen auf die Gesellschaft zunehmend auch auf Strategien der Klimaanpassung zurückgegriffen.

Extreme Naturereignisse stellen den häufigsten Grund für Elementarschäden in Deutschland dar und insbesondere im Zuge des voranschreitenden Klimawandels werden diese Ereignisse in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen.

Eine besondere Stellung nehmen dabei Stürme ein, welche durch Luftmassen unterschiedlicher Temperatur entstehen und daher mit Geschwindigkeiten von 200 km/h und mehr auftreten können. Die vergangenen Jahrzehnte verdeutlichen die Häufigkeiten von solchen

¹ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2020): 10 Jahre „KRITIS-Strategie“. S. 17.

² Karutz, H., Geier, W., Mitschke, T., (2017): Bevölkerungsschutz. Notfallvorsorge und Krisenmanagement in Theorie und Praxis.

³ Verbundprojekt SKRIBT (2012): „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bedrohungsanalyse.“ für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

⁴ Verbundprojekt SKRIBT (2012): „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bauwerksbezogene Objektanalyse: Brücken.“ für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

⁵ BMVI (2015): Verlässliche Infrastrukturen für ein funktionierendes Verkehrssystem. Synthesebericht zum Impulsprogramm BMVI-Expertenetzwerk 2014/2015.

Sturmereignissen mit ihren weitreichenden Schäden an Vegetation und Infrastruktur.⁶ Dabei stellt nicht nur die hohe Windlast eine Gefahr für Bauwerke dar, sondern auch mitgerissene Objekte, von welchen ebenfalls ein Gefährdungspotenzial ausgeht.⁷ Obwohl Herbst- und Winterstürme in den mittleren Breiten Europas eher auf einer großen räumlichen Skala einzuordnen sind, hängt die Häufigkeit und Intensität, auch von Wirbelstürmen, besonders von der Topographie ab, wodurch sich das Gefahrenpotenzial regional unterscheiden kann.⁸

Meist verursacht durch extreme Niederschlagsereignisse und einen in der Folge eintretenden Oberflächenabfluss stellen Überschwemmungsereignisse nach Sturmereignissen die zweit häufigste Elementarschadensursache dar.⁹

Insbesondere in räumlicher Nähe zu Flüssen und Bächen entstehen für anliegende Bauwerke durch Flusshochwasser Gefahren durch eine stark erhöhte Erosionskraft sowie mitgeführtes Treibgut. An den Küsten stellt zusätzlich die Sturmflut ein weiteres Flutereignis dar, welches hauptsächlich durch die Schubkraft des Windes verursacht wird.

Hohe Schneelasten durch starke Niederschläge in Form von Schnee stellen für die Aufrechterhaltung von Verkehrsinfrastrukturen eine Herausforderung dar.

Insbesondere in Kombination mit Trockenheit treten Flächenbrände besonders häufig im Osten Deutschlands auf und stellen daher auch eine potenzielle Gefahr dar.

Massenbewegungen, ausgelöst durch geophysikalische Ereignisse wie z. B. Erdbeben treten meist in Form von Lawinen oder Hangrutschungen auf. Insgesamt wird die Gefahr durch Lawinen als hoch eingeschätzt. Weitere gravitative Massenbewegungen wie beispielsweise Felsstürze, Steinschlag oder Murgänge treten insbesondere im alpinen Raum und den Mittelgebirgen auf, und stellen potenziell auch für die Verkehrsinfrastruktur eine Gefahr dar.

Obwohl sie zu den vergleichsweise selten auftretenden Naturereignissen gehören, stellen Erdbeben besonders in einigen Regionen entlang der Rheinschiene und am Oberrhein eine Naturgefahr mit gravierendem Gefahrenpotenzial dar.

Seit 2015 beauftragt die Bundesregierung ein Behördennetzwerk, bestehend aus 25 Bundesbehörden und -institutionen sowie weiteren Experten und Expertinnen, mit der Erstellung einer Klimawirkungs- und Risikoanalyse, welche im Jahr 2021 zum zweiten Mal Klimawirkungen und Anpassungskapazität in Deutschland analysiert und bewertet.¹⁰

Ziel dieser Studie ist es, nach Betrachtung vieler verschiedener Handlungsfelder und Klimawirkungen eine umfassende Grundlage für die Weiterentwicklung der Aktionspläne der Bundesregierung zu schaffen, welche das Ausmaß zukünftig möglicher Klimaschäden bewertet und Anpassungsmöglichkeiten identifiziert, die zur Minderung von Klimarisiken beitragen können. So sollen jene Handlungsfelder und Klimawirkungen identifiziert werden,

⁶ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bedrohungsanalyse. S. 8.

⁷ Bundesministerium des Innern: Schutz Kritischer Infrastrukturen – Basisschutzkonzept, Empfehlungen für Unternehmen. Bundesministerium des Innern, Berlin, 2005 zitiert nach Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bedrohungsanalyse. S. 8.

⁸ Deutscher Wetterdienst (2015): Herbstzeit ist Sturmzeit. https://gcos.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2015/9/16.html (zuletzt aufgerufen: 02.05.2023).

⁹ Sieg, T. & Kreibich, H. (2019, 24. Mai). Wirtschaftliche Folgen von Überschwemmungen. Earth System Knowledge Platform [www.eskp.de], 6. doi:10.2312/eskp.018

¹⁰ adelphi/PRC/EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel.

bei welchen hohe Klimarisiken bestehen und bei welchen durch eine geringe Anpassungskapazität dringende Handlungserfordernisse resultieren. Auf diese Weise verschafft die Klimawirkungs- und Risikoanalyse einen umfangreichen Ausblick über die zukünftige Lage Deutschlands, die Herausforderungen des Klimawandels zu bewältigen.¹¹

Insbesondere Schäden und Beeinträchtigungen durch extreme Wetterereignisse können eine Gefährdung für die uneingeschränkte Nutzung oder den Betrieb verschiedener Verkehrsträger darstellen, weshalb für das in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse untersuchte Handlungsfeld, „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ Risiken und Anpassungsstrategien in einem eigenen Teilbericht genauer beleuchtet werden. Anhand der Stärke des gegenwärtigen Klimarisikos, jeweils einer optimistischen und einer pessimistischen Prognose für die Mitte des 21. Jahrhunderts (2031-2060) wie auch für das Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) werden die Klimarisiken ohne Anpassung für die entsprechenden Zeiträume bewertet.¹²

So werden im Teilbericht „Verkehr, Verkehrsinfrastruktur“ für die Schiffbarkeit von Binnenwasserstraßen besonders Hoch- und Niedrigwasserereignisse mit potenziellen wirtschaftlichen Folgen genannt, erhöhte Unterhaltungsarbeiten insbesondere für den Bereich der Seeschiffahrtsstraßen. Sowohl Hochwasserereignisse als auch gravitative Massenbewegungen stellen für Straßen- als auch für Schienenwege ein erhöhtes Gefährdungspotenzial dar. Neben direkten Schäden an Straßen- und Schienenanlagen tragen außerdem schwer kalkulierbare, indirekte Schäden, z. B. verursacht durch Verkehrsunterbrechungen, zur Schadensbilanz bei. Weitere Auswirkungen im untersuchten Handlungsfeld stellen Schäden an Verkehrsleitsystemen, Oberleitungen und Stromversorgungsanlagen sowie Schäden an Binnen- und Seeschiffahrtsstraßen, Häfen und maritimen Infrastrukturen dar.¹³

Mit dem übergeordneten Ziel, Lösungen für zukünftige Mobilitätsfragen, insbesondere im Hinblick auf die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit der Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße zu entwickeln, erarbeitet das BMDV-Expertenetzwerk eine langfristige Forschungsstrategie, die sich mit den aktuellen Herausforderungen der Folgen des Klimawandels beschäftigt. „Mit der Arbeit im Bereich der Klimafolgen- und Anpassungsforschung entwickelt und liefert das BMDV-Expertenetzwerk, dem Stand der Wissenschaft entsprechend, verkehrsträgerübergreifende Informationen zu vergangenen und zukünftig zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Bundesverkehrswege und zu denkbaren Anpassungsoptionen“¹⁴.

Mithilfe einer Klimawirkungsanalyse analysiert das BMDV-Expertenetzwerk die Folgen des Klimawandels verkehrsträgerübergreifend und bezieht sich dabei auf die Exposition des Verkehrs und der Verkehrsinfrastruktur sowie der spezifischen Sensitivität gegenüber unterschiedlichen klimatischen Einflüssen und die Kritikalität der entsprechenden Strecken.¹⁵

Insbesondere im Zusammenhang der direkten und indirekten Schäden an einer Verkehrsinfrastruktur und den damit möglicherweise einhergehenden Folgeschäden durch entstandene Engpässe sowie diverser Einschränkungen in Funktions- und Leistungsfähigkeit wird es notwendig, entsprechende Personentransporte und im Speziellen Lieferketten in einem

¹¹ Ebd.

¹² Dorsch, L., Kahlenborn, W., Lohrengel, A., Nilson, E., Porst, L., Rudolph, E., Voß, M. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teil 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur.

¹³ Ebd.

¹⁴ BMVI (2020): Das BMVI Expertenetzwerk „Wissen – Können – Handeln“: Synthesebericht zur Forschungsphase 2016-2019. S. 8.

¹⁵ Ebd.

inter- bzw. multimodalen¹⁶ Zusammenhang zu betrachten. Dies resultiert aus der Annahme, dass Verkehrsträger durch die enge Verzahnung von inter- bzw. multimodal gestalteten Lieferketten zunehmend voneinander abhängig sind und eine Beeinträchtigung des einen Verkehrsträgers Auswirkungen auf weitere, in die Lieferkette eingebundene Verkehrsträger haben kann. Von großer Bedeutung für den reibungslosen Ablauf von Umschlagprozessen im Rahmen inter- bzw. multimodaler Verkehre sind daher besonders auch solche Anlagen, die als Knotenpunkte und Übergangsstellen von einem Verkehrsträger zum anderen gelten.

Mit einem Wachstumspotenzial von 150 % in den nächsten zehn Jahren wird insbesondere der Schienengüterverkehr für inter- bzw. multimodale Transportketten eine zunehmend wichtigere Rolle spielen, um die angestrebte Verlagerung von Gütern auf die Schiene voranzutreiben.¹⁷ So sieht die Maßnahme zur Stärkung des Güterverkehrs des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung vor, die Vernetzung von Verkehrsträgern zu verbessern, um mehr Güter auf die Schiene zu verlagern. Ziel ist neben der Fortsetzung bereits bestehender Förderungen für Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs, wodurch Umschlagskapazitäten gesteigert werden sollen, ebenso eine Effizienzsteigerung im kombinierten Verkehr durch eine zunehmende Digitalisierung, um „Prozess- und Wartezeiten [sowie eine] Optimierung der Ressourcenauslastung im Terminal und im Vor- /Nachlauf“¹⁸ zu erreichen. Auf diese Weise soll die Flexibilität des Verkehrsträgers Schiene gesteigert werden, um zum einen den zu erwartenden Anstieg der Gütermengen bewältigen zu können, und zum anderen die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Verkehrsträger Straße zu steigern, wobei Straßentransport im Zu- und Nachlauf des Kombinierten Verkehrs nicht als Konkurrenz, sondern als wesentlicher Bestandteil betrachtet wird.

„Wesentliche Kostentreiber im inter- bzw. multimodalen Transport sind die Vor- und Nachläufe [und] auch die Kosten und Risiken (Zeit, Zuverlässigkeit) eines mehrfachen Verkehrsträgerwechsels spielen eine wesentliche Rolle“¹⁹, weshalb auch Vor- und Nachlauf sowie Umschlagprozesse in die Optimierung und Digitalisierung mit einbezogen werden müssen, um die Wirtschaftlichkeit Kombierter Verkehre zu verbessern, neue Potenziale zu erschließen und die Attraktivität und Zuverlässigkeit inter- bzw. multimodaler Transportketten zu optimieren.²⁰

In Anbetracht des zunehmenden Verkehrswachstums sowie der Anforderungen des Verkehrssystems an ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Bedürfnisse sowie insbesondere unter Berücksichtigung der zu erwartenden Folgen durch den Klimawandel verfolgt die Bundesregierung auf diese Weise das Ziel, „die Leistungsfähigkeit und Effizienz aller Verkehrsträger zu sichern und durch eine optimale Vernetzung dafür zu sorgen, dass sie im Gesamtsystem ihre jeweiligen Stärken zum Einsatz bringen können“²¹.

¹⁶ Erläuterung der Begriffe „intermodal“ und „multimodal“ in Kapitel 4.5

¹⁷ BMVI (2021): Wir wollen mehr Güter von der Straße auf die umweltfreundliche Schiene bringen.

¹⁸ Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030. S.74.

¹⁹ BMVI (2017): Masterplan Schienengüterverkehr. S. 28.

²⁰ BMVI (2017): Masterplan Schienengüterverkehr.

²¹ BMVI (2021): Transeuropäische Verkehrsnetze (TEN-V).

2 Gesamtziel

Gesamtziel des gegenständlichen Forschungsprojektes ist die Bestimmung der Kritikalität von Streckenabschnitten der Bundesverkehrswege des Bestandsnetzes. Relevant ist dabei die Berücksichtigung der Intermodalität und der Auswirkungen derselben auf die Kritikalität. Zu überprüfen sind daher die Auswirkungen von Ausfällen eines Verkehrsträgers auf den darauffolgenden innerhalb einer intermodalen Kette. Diese Zusammenhänge sind aufzuführen und Kausalzusammenhänge zu analysieren.

Kritikalität wird dabei als „relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Infrastruktur in Bezug auf die Konsequenzen, die eine Störung oder ein Funktionsausfall für die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen“²² hat, verstanden.

Die Bestimmung der Kritikalität geschieht vor dem Hintergrund des Themenfeldes 1 (TF1) „Klimawandelfolgen und Anpassung“ zur Bewertung der Folgen des Klimawandels auf das Bundesverkehrssystem, das im BMDV-Expertenetzwerk betrachtet wird. In der ersten Phase des BMDV-Expertenetzwerks wurde ein Konzept für eine Klimawirkungsanalyse für die Verkehrssysteme entwickelt.

Folgende Aspekte werden von der Klimawirkungsanalyse (KWA) betrachtet:

- (1) Analyse der Exposition der Verkehrsinfrastruktur gegenüber dem Klimawandel und extremen Wetterereignissen.
- (2) Analyse der Sensitivität der Verkehrsinfrastruktur gegenüber den betrachteten Klimawirkungen.
- (3) Analyse der Kritikalität von Streckenabschnitten der Bundesverkehrswege.

Nachdem in der ersten Phase des BMDV-Expertenetzwerks der Fokus zur Kritikalitätsbestimmung auf Indikatoren lag, welche die Verkehrsmenge adressierten, sollen diese Indikatoren nun ergänzt und um nicht verkehrsmengenbezogene Indikatoren erweitert werden. Dies soll zwar verkehrsträgerspezifisch erfolgen, die Intermodalität soll jedoch besonders berücksichtigt werden. Die verkehrsträgerübergreifenden Zusammenhänge des Bundesverkehrssystems sollen erfasst und analysiert werden, um anschließend intermodale Kritikalitätsindikatoren zu bilden, die eine Einordnung jedes Streckenabschnitts im Bundesverkehrswegenetz zu einer bestimmten Kritikalitätsstufe zu ermöglichen.

Die zusätzliche Betrachtung der Intermodalität ist als relevant einzuschätzen, da durchaus davon auszugehen ist, dass die Kritikalitätsbewertung eines Verkehrsträgers in Zusammenhang mit den anderen Verkehrsträgern steht, die damit in Verbindung stehen. Aufgabe des Projektes ist daher, diese Zusammenhänge und Einflussfaktoren zu finden und zu benennen. Es ist ausdrücklich nicht Ziel des Projektes, einen Vergleich der Kritikalität zwischen den Verkehrsträgern vorzunehmen.

Die Eruierung, Dokumentation und quantitative Aufbereitung der intermodalen Zusammenhänge des Verkehrssystems ist daher laut Leistungsbeschreibung als übergeordnetes Ziel zu verstehen.

Als direkter Nutzen des Projektes wird die Zuarbeit für den dritten Baustein der Klimawirkungsanalyse (s. o.) im TF1 des BMDV-Expertenetzwerks genannt, dessen Ergebnisse

²² Bundesministerium des Innern: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen, 2009, S. 5 (zitiert nach der Leistungsbeschreibung)

in ihrer Gesamtheit auch in den Prozess der Deutschen Anpassungsstrategie einfließen. Außerdem besteht Nutzen für die „Sicherheitsstrategie Güterverkehr und Logistik“ des BMDV für Betrachtungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Schließlich wird noch der Nutzen für die Betreiber der Verkehrsinfrastruktur angeführt, die anhand der Ergebnisse Priorisierungen von Planungen und Erhaltungsmaßnahmen vornehmen können und somit ein gutes Werkzeug erhalten.

3 Methodik des Vorgehens

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens wird in fünf wesentliche Arbeitspunkte gegliedert:

- AP 1: Literaturanalyse und Grundlagenaufnahme
- AP 2: Kritikalitätsindikatoren Schiene
- AP 3: Kritikalitätsindikatoren Straße
- AP 4: Kritikalitätsindikatoren verkehrsträgerübergreifend (Schiene, Straße, Wasserstraße)
- AP 5: Bildung der Indikatoren und Anwendung auf das Verkehrsnetz
- AP 6: Abschließende Dokumentation

Die Leistungsbeschreibung sieht drei Arbeitspakete vor (AP 1: Kritikalitätsindikatoren Schiene, AP 2: Kritikalitätsindikatoren Straße, AP 3: Kritikalitätsindikatoren verkehrsträgerübergreifend), eine Änderung der Projektstruktur wird jedoch explizit als Option genannt. Diese wird durch den Bieter an dieser Stelle genutzt.

Die Vorgehensweise weicht aus den im Folgenden dargelegten Gründen leicht von der in der Leistungsbeschreibung vorgeschlagenen Variante ab:

- AP 1 Es wird davon ausgegangen, dass zu Beginn der Arbeiten immer als Arbeitspaket die Literaturanalyse (z. B. Sichtung der Veröffentlichungen des BMDV-Experten-netzwerks, etc.) sowie die Grundlagen-sichtung steht. Dafür werden die Daten-grundlagen, die u. U. genutzt werden sollen, auf Verfügbarkeit bzw. Zugänglich-keit überprüft, aufgelistet und mit dem AG abgestimmt.
- AP 2 – 4 In den Arbeitspaketen 2 und 3 werden jeweils für die Verkehrsträger Schiene und Straße spezifische Einzelindikatoren ermittelt. Dies ist organisatorisch in zwei Arbeitspakete aufgeteilt, da am Schluss zwei getrennte Ergebnisse stehen. Für AP 4 werden verkehrsträgerübergreifend Indikatoren für die intermodale Bewertung der Kritikalität ermittelt, die wiederum anderen Voraussetzungen folgen. Die Ermittlung der Indikatoren findet gleichzeitig statt, da die Inhalte und Vorgehens-weise Synergien beinhalten.
- AP 5 Die Entwicklung einer Methodik zur Indikatorenauswahl und Bildung eines Gesamtindikators wird in AP 4 beschrieben, da sie für beide Verkehrsträger vom Grundsatz her gleich verlaufen.
- AP 6 Hinzu kommen die projektbegleitenden Termine und das Berichtswesen (AP 7 & 8).

Im Folgenden werden Arbeitspakete und Vorgehensweise näher erläutert.

4 AP 1: Literaturanalyse und Grundlagenaufnahme

„Infrastrukturen sind bedeutsame Versorgungssysteme unserer Gesellschaft. Sie sind nicht nur alltäglichen Störungen und Gefahren, sondern auch Extremereignissen zum Beispiel durch Naturgefahren, technischem oder menschlichem Versagen oder vorsätzlichen Handlungen ausgesetzt. Infrastrukturen sind komplexe Systeme, von denen eine Vielzahl von Versorgungsfunktionen abhängen“²³. „Kritisch“ werden diese, wenn bei Beeinträchtigung oder Ausfall nachhaltige Störungen des staatlichen Gemeinwesens zu erwarten sind.

Dabei kommt vor allem den kritischen Infrastrukturen des Transport- und Verkehrssektors eine hohe Bedeutsamkeit zu, da diese als Grundvoraussetzung für moderne arbeitsteilige Volkswirtschaften bezeichnet werden können, da ebendiese Volkswirtschaften auf die Mobilität von Gütern und Personen angewiesen sind. Sie tragen somit unmittelbar zur Funktions- und Leistungsfähigkeit der Versorgung von Staat und Gesellschaft bei. Dies äußert sich insbesondere durch die Transportkapazität (4,1 Mrd. t Güter und 70 Mrd. Personen im Jahr 2014) sowie der engen Abhängigkeit zu anderen Sektoren, was insbesondere im Hinblick auf die Globalisierung von Produktion und dem globalen Personenverkehr von Relevanz ist.

Daher haben Störungen und Ausfälle entsprechender Infrastrukturen Auswirkungen auf viele weitere Bereiche wie die Wirtschaft, etwa durch Verzögerungen bei der Produktion und Auslieferung von Waren und der Verfügbarkeit von Personal, aber auch auf die Versorgung mit lebenswichtigen Gütern, das Rettungs- und Gesundheitswesen sowie die Mobilität im Arbeits- und Freizeitbereich. „Dabei bezieht sich „kritisch“ auf die Systemrelevanz der Infrastrukturen, d. h. auf die für das Gesamtsystem und – unter bevölkerungsschutzrelevanten Gesichtspunkten – für die Daseinsvorsorge besonders bedeutsamen Einrichtungen“²⁴ und somit nicht auf die eigentliche Gefahr einer Infrastruktur auszufallen, sondern auf das Ausmaß des Schadens für die Bevölkerung.

Vor diesem Hintergrund der Gefährdung durch Naturkatastrophen und extreme Wetterereignisse, durch Ereignisse technischen oder menschlichen Versagens und durch Terrorismus oder kriminelle Handlungen sind Maßnahmen zur Grundsicherung der hochkomplexen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Infrastrukturen zwingend erforderlich.

„Für diese [...] kritischen Infrastrukturen sind Maßnahmen zur Schadensbegrenzung und -bewältigung, aber vor allem auch präventive Maßnahmen vorzuhalten und zu entwickeln, mit deren Hilfe das Entstehen erheblicher Störungen von vornherein vermieden oder zumindest deren Folgen so gering wie möglich gehalten werden können“²⁵.

Eine besondere Gefährdung geht dabei auch von dem sogenannten Dominoeffekt aus, bei welchem eine Anlage oder kritische Teile einer Anlage durch ein Ereignis von außerhalb beeinträchtigt werden. In diesem Zusammenhang bietet das Projekt KritiskAT einen möglichen Ansatz, das Verständnis über die Funktionsweise verknüpfter Infrastruktur- und Nutzernetze zu stärken.

²³ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2021): Kritische Infrastrukturen, in: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – Kritische Infrastrukturen.

²⁴ Karutz, H., Geier, W., Mitschke, T., (2017): Bevölkerungsschutz. Notfallvorsorge und Krisenmanagement in Theorie und Praxis.

²⁵ Bundesministerium des Innern (2005): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Basisschutzkonzept. Empfehlungen für Unternehmen.

„Aus Sicht des Bevölkerungsschutzes steht beim Schutz kritischer Infrastrukturen die gesamte Gesellschaft im Blickfeld. Es geht weniger um das Überleben einzelner Unternehmen, als vielmehr um den Erhalt der Funktionsfähigkeit sämtlicher gesellschaftlicher Bereiche, vorrangig um die Versorgung mit existenziellen Gütern und Dienstleistungen wie Wasser, Lebensmittel, Elektrizität oder Gesundheitsdienstleistungen“²⁶.

Neben dem Zivilschutz ist die Funktionsfähigkeit insbesondere der verkehrlichen Infrastruktur auch für militärische Zwecke von Bedeutung²⁷. Aufgrund der geographischen Lage steht Deutschland als Transitland im Fokus der NATO und stellt in diesem Zusammenhang besondere logistische Ansprüche an die (kritische) Verkehrsinfrastruktur. Mit dem Ziel der Verbesserung der militärischen Mobilität in Europa und einer Erhöhung der Transportkapazität wächst daher auch die Bedeutung der notwendigen Infrastruktur in Deutschland²⁸. Dieser sensible Politikbereich ist jedoch durch eine Vielzahl physischer, rechtlicher und regulatorischer Hindernisse eingeschränkt, welche für das Erreichen einer grenzüberschreitenden Mobilität zunächst gelöst werden müssen²⁹.

4.1 Kritikalität

Definiert wird Kritikalität als ein „relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Infrastruktur in Bezug auf die Konsequenzen, die eine Störung oder ein Funktionsausfall für die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen hat“³⁰. Um die Funktionsfähigkeit der modernen Gesellschaft auch im Krisenfall zu gewährleisten und negative Auswirkungen durch Versorgungsengpässe oder die Beeinträchtigung der öffentlichen Sicherheit so gering wie möglich zu halten, lassen sich insbesondere jene Infrastrukturen als kritisch bezeichnen, welche für den Erhalt dieses Zustandes von essentieller Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang hat sich der Begriff der „Kritischen Infrastrukturen“ etabliert, der die Infrastrukturen beschreibt, bei deren Beeinträchtigung oder Ausfall nachhaltige Störungen des staatlichen Gemeinwesens zu erwarten sind. Dabei kann eine solche kritische Infrastruktur neben ihren strukturellen, funktionellen und technischen Eigenschaften auch aufgrund ihrer kulturellen Bedeutung Kritikalität besitzen und sich durch eine stärkere oder geringere Vernetzung mit kritischen Infrastrukturen anderer Sektoren auszeichnen³¹.

²⁶ Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2011): Projektbeschreibung KritisKAT.

²⁷ Deutscher Bundestag (2017): Kurzinformation. Verlegfähigkeit von NATO-Streitkräften über deutsches Territorium. (Fachbereich WD 2: Auswärtiges, wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Verteidigung, Menschenrechte und humanitäre Hilfe).

²⁸ Drent, M. E./Kruijver, K./Zandee, D. H./Nederlands Instituut voor Internationale Betrekkingen "Clingendael"/ Netherlands Institute of International Relations 'Clingendael' (2019): Military Mobility and the EU-NATO Conundrum (Clingendael report).

²⁹ European Union Institute for Security Studies (2017): Towards a 'military Schengen'? Towards a 'military Schengen'?

³⁰ Bundesministerium des Innern (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). S. 5

³¹ Bundesministerium des Innern (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). S. 5

4.2 Kritikalität von Verkehrswegen

Aufgrund der Systemrelevanz kritischer Verkehrsinfrastrukturen und ihrer volkswirtschaftlichen Vermögenswerte stellt der Ausfall dieser eine große Gefahr für das Gesamtsystem dar ^{32 33}. Insbesondere der Transport- und Verkehrssektor nimmt durch seine technischen, funktionellen und strukturellen Eigenschaften als Teil der technischen Basisinfrastrukturen eine bedeutende Rolle in der Sicherstellung von Versorgung und Sicherheit ein. Die Beeinträchtigung von Verkehrssystemen kann außerdem weitreichende Folgen für die Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit des Systems haben, welche wiederum Auswirkungen auf weitere Schlüsselfunktionen der Verkehrsinfrastruktur haben können. Dabei besteht die eigentliche Gefahr weniger im reinen Ausfall eines Bauwerks oder einer Anlage, sondern viel mehr in den dadurch verursachten Folgeschäden für die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Versorgung von Staat und Gesellschaft ³⁴. Eine Herausforderung stellen dabei, nicht nur im Verkehrssektor, die Eigentumsverhältnisse der kritischen Infrastrukturen dar. Durch den hohen Anteil an privaten Unternehmen verlagern sich auch zunehmend die Verantwortung für Sicherheit und Zuverlässigkeit dieser Infrastrukturen im Krisenfall, wodurch sich „staatliche Aufgaben beziehungsweise Aufgaben der öffentlichen Hand [...] vorrangig im Rahmen einer Gewährleistung, allenfalls der Sicherstellung der Versorgung in Krisenzeiten [bewegen], wenn übliche Marktmechanismen nicht mehr funktionieren“ ³⁵.

4.3 Indikatoren der Kritikalität

Die Bestimmung der Kritikalität eines Netzabschnittes, einer Anlage oder eines Bauwerks einer Verkehrsinfrastruktur kann allgemein anhand verschiedener Beurteilungsgrößen bestimmt werden und unterschiedliche Aspekte des Schadensausmaßes berücksichtigen. Neben den direkten Schäden auf das betroffene Netzelement der Verkehrsinfrastruktur, wie dessen Ausfall oder Zerstörung, sowie deren Nutzer, z. B. in Folge von dadurch verursachten Personenschäden, können auch Indikatoren für indirekte Folgeschäden in die Bewertung einfließen ³⁶. Dazu können neben der Erfassung von volkswirtschaftlichen Folgeschäden auch Auswirkungen auf den Verkehr in Form von Mehrreisezeiten zählen. So lassen sich bspw. durch Verkehrssimulationen die verkehrlichen Auswirkungen auf das umliegende Netz, verursacht durch den (Teil-)ausfall eines Netzabschnittes und dem dadurch reduzierten Straßennutzungsangebot, quantitativ in Form von Mehrreisezeiten in Fahrzeugstunden ermitteln. Einflussfaktoren stellen dabei z. B. die mögliche Restkapazität dar, sowie die Dauer des Ausfalls, eine inner- oder außerörtliche Lage, die sich in der Netzdichte äußert, Kapazitätsgrößen in Abhängigkeit zum Straßentyp sowie weitere dynamische Faktoren wie tageszeitliche Belastungsschwankungen ³⁷.

³² Karutz, H., Geier, W., Mitschke, T., (2017): Bevölkerungsschutz. Notfallvorsorge und Krisenmanagement in Theorie und Praxis.

³³ Verbundprojekt SKRIBT (2012): „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bedrohungsanalyse.“ für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

³⁴ Verbundprojekt SKRIBT (2012): „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bauwerksbezogene Objektanalyse: Brücken.“ für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

³⁵ Bundesministerium des Innern (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). S. 6

³⁶ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke. S. 9

³⁷ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke. S. 19

4.4 Bestimmung von Umwegigkeiten in Verkehrsnetzen

Im Falle eines Ausfalls eines Segmentes des Verkehrsnetzes spielt die Dichte der Netzwege eine ausschlaggebende Rolle. Sowohl die zu erwartende Zunahme der Verkehrsmenge durch eine Verlagerung der Verkehrsströme als auch der durch eine Umfahrung entstehende Zeitverlust können indirekte Auswirkungen auf die Funktions- und Leistungsfähigkeit des übrigen Verkehrsnetzes haben. Diese Auswirkungen nehmen in Bezug auf den Verkehrsträger Straße insbesondere unter Berücksichtigung des Schwerverkehrs und seiner infrastrukturellen Anforderungen an Bedeutung zu, für welche sich unter Umständen größere Umwegigkeiten ergeben können. Für die Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße kann ein Ausfall durch eine grundsätzlich geringere Netzdichte ebenfalls weitreichende Auswirkungen auf Funktions- und Leistungsfähigkeit der jeweiligen Teilnetze haben. Da diese Netze jedoch zu großen Teilen durch inter- und multimodale Nutzung geprägt sind, können Ausfälle ebenfalls Auswirkungen auf das Gesamtnetz haben.

Eine Ableitung der Umwegigkeit kann durch eine Annäherung an die Dichte des Verkehrsnetzes erfolgen, welche als maßgebliche Größe für die Bestimmung von Umwegigkeiten betrachtet werden kann. Neben einer Ermittlung der Netzlänge einer gewissen Fläche kann ebenfalls ein Ansatz gewählt werden, bei welchem die Anzahl der (relevanten) Netzknoten je betrachteter Fläche berechnet wird. Beide Methoden führen zu ähnlichen Ergebnissen, da die Zahl der Knotenpunkte eine hohe Korrelation zur Netzlänge aufweist.³⁸ Ähnliche Ansätze der Netzwerkanalyse setzen die Anzahl tatsächlicher Verbindungen zwischen Knotenpunkten in Relation zu der theoretisch möglichen Anzahl an Verbindungen und ermitteln auf diese Weise die Netzwerkdichte, aus welcher sich die Umwegigkeit abschätzen lässt.

Ein verkehrssimulationsbasierter Ansatz stellt die Umlegung des Verkehrs auf Ausweichrouten dar, welcher mithilfe eines umlegefähigen digitalen Netzmodells geschehen kann und den Ausfall eines Netzelements sowie die verkehrlichen Auswirkungen simuliert. Die Verkehrsströme werden in einer Simulation von der betroffenen Strecke auf Alternativrouten umgelegt, wodurch die Veränderung der Verkehrsbelastung auf allen umliegenden Netzelementen bestimmen lässt. Hierfür ist eine Georeferenzierung des Bauwerks, der Anlage oder eines sonstigen Netzelements im digitalen Netzmodell unerlässlich, um eine eindeutige Verknüpfung zwischen Netzelement und genauer Lage im Netz herzustellen. Eine Differenzierung des Straßentyps und den damit verknüpften technischen und funktionellen Eigenschaften des Netzelements, wie bspw. Kapazität (maximale Verkehrsstärke), zulässigen Geschwindigkeiten oder Traglast ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der Anforderungen an und Auswirkungen auf mögliche Alternativrouten und stellt damit ebenfalls einen wichtigen Bestandteil der verkehrssimulationsbasierten Verkehrsumlegung dar.

4.5 Multimodalität und Intermodalität

Im Zusammenhang potenzieller Folgeschäden, verursacht durch die Beeinträchtigung systemrelevanter Infrastrukturen, ist insbesondere die Ausgestaltungsform der Personen- oder Gütertransportkette von großer Bedeutung. Insbesondere mehrgliedrige Gütertransportketten zeichnen sich häufig durch einen ein- oder mehrmaligen Wechsel des Verkehrsmittels, und somit auch des Verkehrsträgers aus.³⁹

³⁸ Haggett, P. (1972). Einführung in die Kultur- und sozialgeographische Regionalanalyse. S. 93 f.

³⁹ Bühler, G., Stumm, G. (2005): Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr, Eine Analyse ordnungs- und preispolitischer Maßnahmen. S. 52.

Im Unterschied zum multimodalen Verkehr zeichnen sich intermodale Transportketten lediglich durch den Wechsel des Verkehrsmittels aus und nicht durch den Umschlag des eigentlichen Transportguts in eine neue Ladeeinheit. Das Transportgut verbleibt also während der gesamten Transportkette in derselben Ladeeinheit. Hier sind insbesondere Standardcontainer oder Wechselbehälter Beispiele für intermodal kompatible Ladeeinheiten⁴⁰.

Die Verkehrsträger sind durch die intermodalen Transportketten eng aneinander gebunden. Der Ausfall eines Verkehrsträgers durch direkte oder indirekte Schäden einer Verkehrsinfrastruktur innerhalb der Transportkette kann Auswirkungen auf die anderen Verkehrsträger der Kette haben. In diesem Zusammenhange kommt gerade den Knotenpunkten als neuralgische Punkte des Verkehrsträgerwechsels eine besondere Bedeutung zu.

4.6 Interdependenzen von Verkehrsträgern

Während die Interdependenz eines Verkehrsträgers zu einem anderen Verkehrsträger und deren Bedeutung für die gesamte Transportkette bereits in den Ausführungen zu intermodalen Güterverkehren verdeutlicht wurde, nehmen auch die Interdependenzen von und zu anderen Teilsektoren kritischer Infrastrukturen, beispielsweise der Energieversorgung oder der Informations- und Kommunikationstechnologien eine bedeutende Rolle in der Betrachtung der Kritikalitätsbewertung von Verkehrswegen ein.

Im Rahmen einer Bewertung der Kritikalität von Teilsektoren durch das Schweizer Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) erfolgte eine Bestimmung der Kritikalität von insgesamt 31 Teilsektoren kritischer Infrastrukturen, darunter Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr und Schifffahrt. Neben der Ermittlung der Auswirkungen auf die Bevölkerung sowie die Wirtschaft zeigte eine Ermittlung der Auswirkungen auf andere Teilsektoren, dass neben den Teilsektoren wie Stromversorgung und Telekommunikation auch die Teilsektoren des Straßen- und Schienenverkehrs eine sehr große Kritikalität bezüglich Bevölkerung, Wirtschaft und Interdependenzen aufweisen⁴¹.

Ein ähnlicher Ansatz ermittelt das Potenzial gesamtsystemischer Auswirkungen eines Kaskadeneffekts, ausgehend von verschiedenen KRITIS-Teilsektoren. Berücksichtigt wurden bei der Berechnung, neben der Summe ein- und ausgehender Dependenzen, ebenfalls die Nähe zu anderen Teilsektoren sowie die Stärke eines potenziellen Kaskadeneffekts unter Berücksichtigung eines Zeitfaktors. Insbesondere der Straßenverkehr weist in diesem Zusammenhang ein vergleichsweise hohes Kaskadenpotenzial auf, während ein Ausfall ausgehend von Schienenverkehr oder Schifffahrt ein vergleichsweise geringes Kaskadenpotenzial besitzt⁴².

⁴⁰ Bühler, G., Stumm, G. (2005): Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr, Eine Analyse ordnungs- und preispolitischer Maßnahmen. S. 52.

⁴¹ Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS (2010): Schlussbericht Kritikalität Teilsektoren. Programm Schutz Kritischer Infrastrukturen.

⁴² Schmitt, H.C. (2019): Systemisches Kaskadenpotenzial von KRITIS-Teilsektoren. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 4/2019.

4.7 Rahmenvorgaben

Zu den Grundsätzen der Raumplanung nach §2 Abs. 2 des Raumordnungsgesetzes zählt neben der Beachtung räumlicher Erfordernisse der Verteidigung und des Zivilschutzes ebenso der Schutz kritischer Infrastrukturen. Im Kontext der transeuropäischen Netze gilt es, die räumlichen Voraussetzungen für den Zusammenhalt der EU zu gewährleisten.

Auf der Ebene der europäischen Union ist in der Richtlinie 2008/114/EG des Rates die Handhabung zum Schutz kritischer Infrastrukturen mit grenzüberschreitender Bedeutung geregelt. Im Fokus steht dabei vor allem die Ermittlung und Ausweisung von europäischen kritischen Infrastrukturen (EKI) des Energie- und Verkehrssektors, sowie auch anderer Sektoren wie bspw. der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), deren Störung oder Zerstörung grenzüberschreitende und sektorübergreifende Auswirkungen haben können.

Angestrebt wird eine Verbesserung des Schutzes durch gemeinsame Methoden zur Risiko- und Bedrohungsklassifizierung, mit dem Ziel, die Funktionsfähigkeit, die Kontinuität und die Unversehrtheit kritischer Infrastrukturen sowie die Abwendung, Minderung oder Neutralisierung einer Bedrohung, eines Risikos oder einer Schwachstelle sicherzustellen. Während für den Schutz von EKI in letzter Instanz die Mitgliedstaaten sowie die Eigentümer und Betreiber verantwortlich sind, regelt die Solidaritätsklausel in Art. 222 AEUV die Unterstützung innerhalb der EU nach einem Katastrophenfall durch einen Terroranschlag, eine Naturkatastrophe oder eine vom Menschen verursachte Katastrophe. Demnach kann einem betroffenen Staat auf Ersuchen seiner politischen Organe Unterstützung durch andere Mitgliedsstaaten geleistet werden.

Seit 2016 bietet in Deutschland die BSI-KRITIS Verordnung einen Rechtsrahmen zur Bestimmung kritischer Infrastrukturen. Neben Betriebsstätten und sonstigen ortsfesten Einrichtungen, welche für die Erbringung einer kritischen Dienstleistung notwendig sind, zählen auch Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche Einrichtungen zu den Anlagen, welche in die Bestimmung kritischer Infrastrukturen einbezogen werden. Anhand ihres Versorgungsgrades definiert die BSI-KRITIS Verordnung die Sektoren Energie, Wasser, Ernährung, Informationstechnik und Kommunikation, Gesundheit, Finanz- und Versicherungswesen sowie Transport und Verkehr als bedeutend für das Funktionieren des Gemeinwesens. Anlagen dieser Sektoren gelten dann als kritische Infrastrukturen, wenn sie einen für die entsprechende Anlagenkategorie vordefinierten Schwellenwert erreichen oder überschreiten und somit als bedeutend im Sinne von § 10 Absatz 1 Satz 1 des BSI-Gesetzes anzusehen sind.

Innerhalb des Sektors Verkehr und Transport werden insbesondere Anlagen des Luftverkehrs, des Schienenverkehrs, der See- und Binnenschifffahrt, des Straßenverkehrs, des ÖPNV sowie der Logistik an jeweils eigenen Schwellenwerten gemessen. Während nach Anhang 7 (zu § 1 Nummer 4 und 5, § 8 Absatz 3 Nummer 1 und 2) zu den Anlagen des Schienenverkehrs neben den Verkehrssteuerungs- und Leitsystemen auch Verkehrsanlagen wie Schienennetz und Bahnhöfe in die Bestimmung kritischer Infrastrukturen einbezogen werden, so geschieht dies für den Straßenverkehr ausschließlich für Anlagen der Verkehrssteuerungs- und Leitsysteme, nicht jedoch Verkehrsanlagen des Straßennetzes als solche.

Auch das Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz (ZSKG) definiert Aufgaben des Zivilschutzes, Zuständigkeiten und Koordinierungsmaßnahmen. Nach §1 Abs. 1 ist es Aufgabe des Zivilschutzes, durch nichtmilitärische Maßnahmen die Bevölkerung, ihre Wohnungen und Arbeitsstätten, lebens- oder verteidigungswichtige zivile Dienststellen, Betriebe, Einrich-

tungen und Anlagen sowie das Kulturgut vor Kriegseinwirkungen zu schützen und deren Folgen zu beseitigen oder zu mildern. Dies beinhaltet neben gefährdeten Objekten mit Symbolkraft oder Dimension als mögliche Ziele von Angriffen auch kritische Infrastrukturen.

4.8 Grundlagennetze

4.8.1 NEMOBFStr

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hält für die Planung des Bundesfernstraßennetzes ein rechenfähiges digitales Straßenmodell vor (NEMOBFStr – Netzmodell der Bundesfernstraßen). Das NEMOBFStr bildet den jeweils aktuellen Stand des Autobahn-, Bundes- und Landesstraßennetzes vollständig ab und enthält darüber hinaus die wichtigsten Kreis- und Gemeindestraßen sowie in unterschiedlicher Tiefe das Umlandnetz. Es beinhaltet darüber hinaus alle – gemäß dem jeweils geltenden Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen – geplanten Investitionsmaßnahmen. Das NEMOBFStr besteht aus ca. 780.000 Richtungstrecken mit zahlreichen Vektoren zur Abbildung des realen Verlaufes der einzelnen Netzelemente. Dabei sind das Bundesfernstraßennetz und das nachgeordnete Netz relativ genau abgebildet.

Das NEMOBFStr wird kontinuierlich gepflegt, aktualisiert und weiterentwickelt, wobei insbesondere eine permanente Verfügbarkeit von aktuellen Versionen der Netzmodelldatei mit allen zugehörigen Attributen im Vordergrund steht. Das Netzmodell ist streckenorientiert aufgebaut. Jede Strecke ist über zwei Knoten eindeutig definiert.

Über Knotennummern (nach ASB) und Koordinaten sind die Knoten geografisch verortet. Der Verlauf der Strecke zwischen den beiden Knoten ist ebenfalls digitalisiert.

Das NEMOBFStr enthält eine Schnittstelle zu BISStra und kann somit jederzeit mit diesen Daten abgeglichen werden. Die BISStra-Abschnitte werden in dem Netzmodell vorgehalten. Im vorliegenden Projekt werden jedoch die Streckenabschnitte des NEMOBFStr betrachtet, die u. U. kürzer als die BISStra-Abschnitte sind und somit als Teilmenge der Abschnitte zu verstehen sind. Die Abbildung der Ergebnisse auf dem Netz ist also feiner.

4.8.2 BISStra – Bundesinformationssystem Straße

Im Bundesinformationssystem Straße (BISStra) werden die aktuell als Bundesfernstraßen klassifizierten Abschnitte des Straßennetzes vorgehalten. Die Datenhaltung des BISStra ist entsprechend der Anweisung ASB aufgebaut. Die Topologie des BISStra wird über:

- Netzknoten,
- Nullpunkte,
- Abschnitte und
- Äste

beschrieben.

Ein Abschnitt als zentraler Informationsträger des BISStra ist durch zwei Netzknoten am Anfang und am Ende begrenzt. In Einzelfällen kann eine Verbindung zwischen einem Abschnittsende oder Abschnittsanfang und einem Netzknoten durch Äste realisiert sein.

Diese Abschnitte sind aber ebenfalls über den anschließenden Netzknoten eindeutig zu identifizieren. Sachinformationen sind den Abschnitten direkt oder über die Stationierung ihres geometrischen Verlaufs zugeordnet. Direkt zugeordnet ist einem Abschnitt seine straßenrechtliche Widmung. Über die Stationierung sind einem Abschnitt alle weiteren Informationen wie z. B. Streifigkeiten usw. zugeordnet.

BISStra erhält seine Informationen aus den Straßeninformationsbanken der Länder.

Den BISStra-Daten und dem System der SIB-Bauwerke werden die relevanten Informationen zu den Brückenbauwerken entnommen und ausgewertet.

4.8.3 Schienennetz der DB Netz AG

Das Schienennetz der DB Netz AG beinhaltet eindeutige Streckenangaben und deren Aufteilung in Teilkilometerabschnitte. Angefügt sind relevante Informationen über die Länge, Bahnart, Geschwindigkeit, Nutzung etc.

Für die vorliegende Untersuchung wurden die vorgegebenen Streckenelemente des Datensatzes genutzt und als kleinstes Element der Netzanalyse betrachtet. Auf diese Elemente beziehen sich die Ergebnisse. Dieses Vorgehen öffnet die Möglichkeit, bei Veränderungen der Eingangsdaten von Seiten der DB Netz AG (z. B. Veränderung der Geschwindigkeit eines Elementes), diese in das Modell einspielen zu können und neue Ergebnisse für die Kritikalität zu produzieren.

Im Gegensatz zu offiziellen Angaben zur Länge des Schienennetzes der DB Netz AG von ca. 33.400 km⁴³ haben die Streckenelemente des Datensatzes eine Gesamtlänge von rund 56.933 km. Dies ergibt sich daraus, dass in dem Datensatz der DB Netz AG einige Strecken in einzelne parallele Gleiselemente aufgeteilt wurden, so dass sich die Streckenlänge vervielfacht. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Die Informationen über das Streckennetz stammen aus dem offiziell zugänglichen Open Data Portal⁴⁴. Der Datensatz der DB Netz AG hat den Stand Oktober 2019.

⁴³ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)(2021): Verkehr in Zahlen 2021/2022.

⁴⁴ <https://data.deutschebahn.com/> (zuletzt abgerufen am 1.3.2023)

5 AP 2 – 4: Kritikalitätsindikatoren – synoptische Einleitung

Wie bereits in Kapitel 4 erläutert, bestimmt die Definition von Kritikalität die Auswahl der Indikatoren. Hier sind verschiedene Auswirkungen zu bedenken. Im Folgenden werden einige Aspekte erläutert, an deren Ausprägung die Kritikalität eines Streckenabschnitts gemessen werden kann. Diese gelten in der Regel für beide Verkehrsträger (Schiene und Straße) und finden auch bei der Betrachtung der Intermodalität Anwendung. Zusätzlich zu den verkehrsmengenspezifischen Indikatoren wie der Verkehrsstärke sollten noch weitere nicht verkehrsmengenbezogene Indikatoren sowie weitere Aspekte berücksichtigt werden.

Die Indikatoren werden in diesem Kapitel den übergeordneten Aspekten zugeordnet. In einigen Fällen gibt es jedoch Überschneidungen.

1.) Raumordnerische Aspekte

Dabei liegt der Fokus auf Auswirkungen raumordnerischer Natur, die sowohl Einfluss auf die Gesellschaft, als auch auf das Individuum haben können. Hier sei z. B. die Erreichbarkeit von Zentralen Orten genannt. Bei diesem Aspekt stehen abgesehen von der Versorgung mit Gütern über den Einzelhandel, auch die medizinische Versorgung sowie die Versorgung mit Bildung und sonstigen Dienstleistungen im Zentrum des Interesses. Die Einschränkung in der Gleichwertigkeit der Lebensbedingungen kommt hier besonders zum Tragen.

Besondere Indikatoren für diesen Aspekt sind die Folgenden:

- a. Verbindungsfunktionsstufen

2.) Gesamtwirtschaftliche Aspekte

Weitere Auswirkungen von Störungen im Verkehrssystem beziehen sich auf gesamtwirtschaftliche Bereiche, wie die Versorgung mit Gütern, die im Detail betrachtet natürlich ebenfalls direkte Auswirkungen auf das Individuum hat.

Aufgrund der Systemrelevanz des Verkehrssystems kann der Ausfall eines Verkehrselementes durch einen Anschlag, einen Unfall oder ein Naturereignis eine große Gefahr für das Gesamtsystem darstellen. Dabei besteht die eigentliche Gefahr weniger im reinen Ausfall des Bauwerks, sondern viel mehr in den dadurch verursachten Folgeschäden für die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Versorgung von Staat und Gesellschaft.

Auf dieser Grundlage stellen die Dauer und der Grad des Ausfalls maßgebende Größen dar, von denen die Kosten für die Wiederherstellung abhängen. Jedoch kommt es dabei kaum auf die eigentlichen Wiederherstellungskosten an, sondern auf die volkswirtschaftlichen Schäden, welche durch den Ausfall des Bauwerks entstehen können. So können etwa Faktoren wie die Verkehrsstärke, der Anteil an Güterverkehr, die Umfahrungszeit, die sonstige strategische Bedeutung (z. B. Nutzung als Bedarfsumleitung) oder weitere Faktoren mögliche Auswirkungen, z. B. auf Gesellschaft oder Wirtschaft, beeinflussen, wenn die Netzkapazität durch einen Ausfall beeinträchtigt wird.

Besondere Indikatoren für diesen Aspekt sind die Folgenden:

- a. Verkehrsstärke
- b. Verkehrsstärke Güterverkehr
- c. Anteil Güterverkehr
- d. Streckenspezifischer Bruttowertschöpfungswert der transportierten Waren
- e. Transeuropäische Verkehrsnetze (TEN-V-Netz)
- f. Rastanlagen
- g. Verkehrsbeeinflussungsanlagen
- h. Zeitverlust durch Ausfall des Netzelementes
- i. Anschluss an intermodalen Verknüpfungspunkt

3.) Sicherheitsrelevante Aspekte

Andere Bereiche betreffen die Sicherheit, so wie z. B. die Auswirkungen auf Strecken mit militärischer Bedeutung.

Dabei geht es hier nicht um die militärische Bedrohung per se, sondern um eine Übernahme der bereits von militärischer Seite getroffenen Relevanzeinschätzung der entsprechenden Strecken in Form von strategischen Netzdefinitionen. Die entsprechend markierten Streckenelemente sind z. B. besonders relevant für die zivile oder militärische Versorgung und entsprechen z. B. den Einstufungen der militärischen Lastenklassen (Military Load Classification – MLC).

Als weiterer Sicherheitsaspekt kann z. B. auch das Unfallgeschehen auf Ausweichstrecken herangezogen werden.

Besondere Indikatoren für diesen Aspekt sind die Folgenden:

- a. Main Supply Routes
- b. Militärstraßengrundnetz
- c. Hauptzivilgrundnetz
- d. Kritische Brücken

5.1 Die Indikatoren und ihre Verwendung

5.1.1 Verbindungsfunktionsstufen (Straße)

Die Verbindungsfunktionsstufen sind ein Ergebnis einer räumlichen Analyse, die der Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (RIN)⁴⁵ entspricht. Das Ziel ist die Gliederung des Verkehrsnetzes anhand räumlicher Gegebenheiten und deren Bedeutung. Dabei wird das System der Zentralen Orte zu Grunde gelegt. In allen deutschen Bundesländern werden die Gemeinden in Zentrale Orte der Kategorien Metropolregion, Oberzentrum oder Mittelzentrum aufgeteilt, dies ist unter anderem von ihrer Versorgungsbedeutung abhängig. Diese Festlegungen werden in Regional- und Landesentwicklungsplänen festgehalten. In einigen Bundesländern werden in Regionalplänen außerdem Grund- bzw. Unterzentren und Klein-

⁴⁵ FGSV (2008): Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (2008), Köln.

zentren definiert, in manchen nur Grund- bzw. Unterzentren, während es diese Einteilung in Brandenburg gar nicht gibt. Eine Durchführung der RIN bis auf die unterste Ebene ist daher nicht bundesweit durchführbar.

In der Praxis werden die Verbindungsfunktionsstufen, die auf der Einteilung der Zentralen Orte basieren, daher in der Regel in landesweiten Untersuchungen ermittelt, oft mit dem Ziel das Landstraßennetz zu gliedern.

Durch die Ermittlung von Nachbarschaften zwischen Zentralen Orten und der Ausweisung der diese verknüpfenden Routen, können die Verbindungsfunktionsstufen den Netzelementen des Straßennetzes oder den Bedienformen des öffentlichen Verkehrs zugewiesen werden. Auch für Fahrradnetze wird diese Art der räumlichen Analyse zur Gliederung der Infrastruktur bzw. zur Ermittlung von Fahrradnetzen im Sinne einer ausgewogenen Planung herangezogen.

Die Verbindungsfunktionsstufen bieten sich zur Einordnung der Bedeutung eines Netzelementes zur Versorgung und zum Austausch der Bevölkerung und der Wirtschaft an.

Im vorliegenden Projekt sind die Verbindungsfunktionsstufen 0 und I betrachtet worden, da diese bereits bundesweit ermittelt wurden und vom BMDV in Zusammenarbeit mit den Bundesländern in einem Abstimmungsverfahren validiert wurden. Verbindungsfunktionsstufe 0 bildet dabei die Verbindungsbedeutung zwischen Metropolregionen ab und Verbindungsfunktionsstufe I diejenige zwischen Oberzentren und anderen Oberzentren, sowie Oberzentren und Metropolregionen.

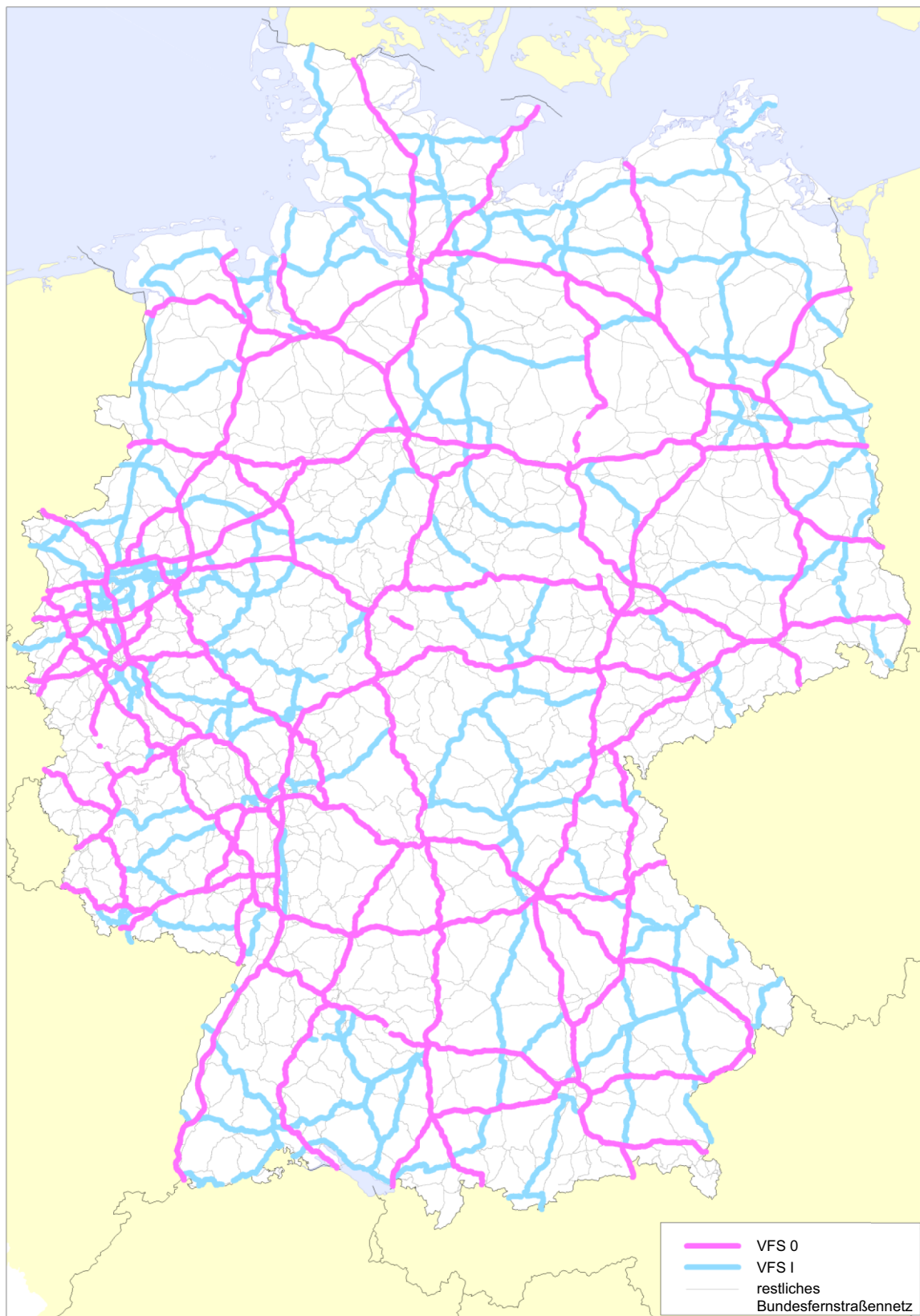


Bild 5-1: Verbindungsfunktionsstufen (eigene Darstellung)

5.1.2 Verkehrsstärke (Straße: DTV, Schiene: Zugbelastung)

Die Verkehrsstärke wird als Indikator herangezogen, da dies einer der stärksten und belastbarsten Faktoren ist, um eine Aussage über die Bedeutung einer Strecke zu treffen. Je höher die grundsätzliche Frequenz der Streckennutzung, desto höher ist die Kritikalität anzusetzen, da bei Ausfall des Streckenelementes eine ungleich höhere Menge an Personen oder Gütern davon betroffen sind.

Die hier zu Grunde gelegte Zugbelastung basiert auf dem Zugbildungsmodell TOPAS von SSP Consult. Es handelt sich dabei um ein Modell des Schienengüterverkehrs, welches u. a. aus den Güterströmen der Daten der Verflechtungsprognose 2030 (VP 2030) die werktäglichen Fahrten von Güterzügen und Personenzügen errechnet und diese über ein Netzmodell des Schienenverkehrs routet. Dabei stellt der Datensatz der VP 2030 auch das Netzmodell zur Verfügung. Ergebnis der Berechnungen sind Belastungen des Schienennetzes mit Güter- und Personenzügen.

Das Modell ist für die Anwendung innerhalb des Landesverkehrsmodells Bayern konzipiert. Da der Schienengüterverkehr vom Fernverkehr dominiert wird und die Rangierbahnhöfe und Terminals auch von Verkehrsströmen außerhalb Bayerns benutzt werden, ist ein gesamtdeutsches Modell konzipiert und implementiert worden, wobei auch die ein- und auslaufenden Verkehre aus dem Ausland abgebildet werden.

Ein wesentliches Element des Modells stellt die sogenannte Zugbildung dar. Im Gegensatz zum Straßengüterverkehr wird eine Transportmenge im Schienengüterverkehr im Allgemeinen nicht direkt zwischen Quelle und Ziel transportiert, da im Schienengüterverkehr das Erreichen von Bündelungseffekten für die Zugzusammenstellung und letztendlich die Bildung eines Güterzugfahrplans wesentlich ist. Dieses Zugangebot errechnet sich im Modell durch den Abgleich mit den Transportströmen. Dies unterscheidet die Modellierung des Schienengüterverkehrs prinzipiell von den ÖV-Modellen im Personenverkehr, wo ein Fahrplan als Eingangsgröße feststeht.

Der zu Grunde gelegte DTV stammt aus einem der Forschungsnehmerin vorliegenden eigenen Modell, das auf dem Netzmodell für die Bundesfernstraßen (NEMOBFSr) beruht. Aus dem Netzmodell ist ein deutschlandweites Modell erstellt worden, dessen Verkehrsströme aus der Prognose der Verkehrsverflechtungen 2030 des BMDV erstellt worden sind, die von der Clearingstelle für Verkehr beim DLR bezogen und disaggregiert worden sind.

5.1.3 Verkehrsstärke Güterverkehr (Straße: DTV Güterverkehr, Schiene: Zugbelastung Güterverkehr)

Die Belastung im Güterverkehr wird im Speziellen als Indikator herangezogen, um die absolute Nutzung des Streckenelementes durch den Gütertransport einzuordnen. Dabei steht hier die Relevanz der Versorgung der Bevölkerung mit Waren im Vordergrund. Eine absolut hohe Zahl an Güterzügen und Lkw steigert die Kritikalitätsbewertung, da im Falle des Ausfalls eines Streckenelementes mit starker Nutzung für den Güterverkehr eine große Menge an Gütern und folglich von Personen durch einen Versorgungsausfall betroffen sind.

5.1.4 Anteil Güterverkehr (Straße/Schiene)

Der Anteil des Güterverkehrs kann unter dem Aspekt betrachtet werden, dass die Versorgungssicherheit vor allem mit Konsumgütern immer im Vordergrund stehen muss, wenn die Kritikalität von Streckenelementen bewertet werden soll. Ein höherer Anteil an Güter-

verkehr weist also darauf hin, dass die Strecke für die Versorgungssicherheit relevant ist, muss jedoch mit der absoluten Menge in Relation gesetzt werden.

5.1.5 Bruttowertschöpfungswert der transportierten Waren (Straße/Schiene)

Aus dem Transportstrom-Visualisierungs-Modell (TraViMo) des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), das dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) angegliedert ist, ist die Bruttowertschöpfung auf den jeweiligen Strecken als Indikator herangezogen worden.

Das Modell basiert auf Statistiken über Verkehrsströme wie die Kraftverkehrsstatistiken des Kraftfahrtbundesamtes und den Verkehrsleistungsstatistiken des Statistischen Bundesamtes, sowie auf dem Modell der bundesweiten Prognose der Verkehrsverflechtungen. Die Verkehrsleistungsstatistiken wurden mit der Verflechtungsprognose 2025 verknüpft. Die im vorliegenden Projekt verwendeten Daten beruhen auf den Grundlagendaten des Jahrs 2014.

Für die Berechnung der Kritikalität ist eine Grenze von 60 Mrd. Euro gesetzt worden. Alle Strecken, auf denen Güter mit mehr als 60 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung transportiert werden, erhalten einen Kritikalitätsfaktor (vgl. Kapitel 5.2). Dieser Grenzwert wurde vom BBSR so als Interpretation vorgeschlagen und für die vorliegenden Untersuchung übernommen. Der Grenzwert von 60 Mrd. Euro entspricht etwa 2 % der gesamtdeutschen Bruttowertschöpfung des Jahres 2014.

5.1.6 TEN-V (Straße/Schiene)

Im Rahmen der Verordnung Nr. 1315/2013 des europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2013 wird der Aufbau und die Vereinheitlichung eines transeuropäischen Verkehrsnetzes beschlossen. Wichtigste Inhalte der Verordnung sind dabei die Stärkung des wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalts, eine nahtlose, sichere und nachhaltige Mobilität sowie die Ausnutzung und Optimierung vorhandener Kapazitäten.⁴⁶

Erreicht werden soll dies unter anderem durch die Schaffung neuer Infrastrukturen sowie die Sanierung und Modernisierung vorhandener Infrastrukturen der Bereiche Straße, Schiene und Wasserwege. Auf diese Weise soll bis zum Jahr 2030 ein Kernnetz festgelegt werden, welches im weiteren Verlauf den Ausbau des Gesamtnetzes vorantreiben soll.

Aufgrund der zentralen Lage in Europa kommen den bundesdeutschen Verkehrsachsen in Bezug auf die transeuropäischen Korridore, welche die Grundlage für das transeuropäische Kernnetz darstellen, eine besondere Bedeutung zu. Über das bundesdeutsche Verkehrsnetz verlaufen dabei mit den Korridoren Nord-Ostsee, Skandinavien-Mittelmeer, Atlantik, Rhein-Donau, Rhein-Alpen und Orient-/Östliches Mittelmeer mehr Korridore als durch jeden anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union, woraus eine Relevanz für die Bestimmung kritischer Brücken resultiert.

Das TEN-V-Netz definiert die im europäischen Kontext besonders relevanten Langstreckenverbindungen. Diese Definition sollte sich in der Kritikalitätsbestimmung widerspiegeln. Das TEN-V-Netz wird daher bei beiden Verkehrsträgern berücksichtigt und fließt in die Kritikalitätsbewertung ein.

⁴⁶ Verordnung (EU) Nr. 1315/2013 über Leitlinien für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes

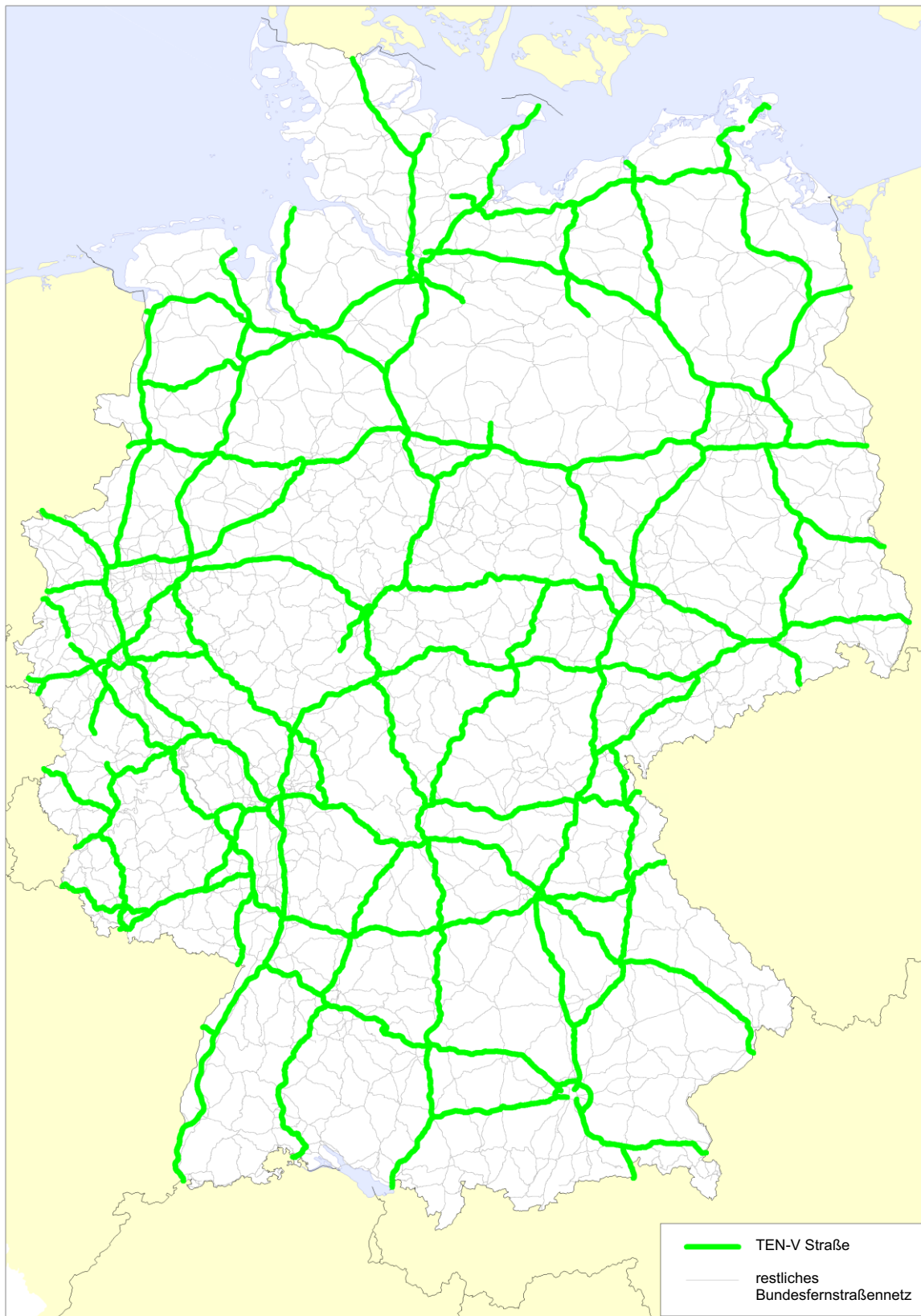


Bild 5-2: TEN-V-Netz Straße (eigene Darstellung)

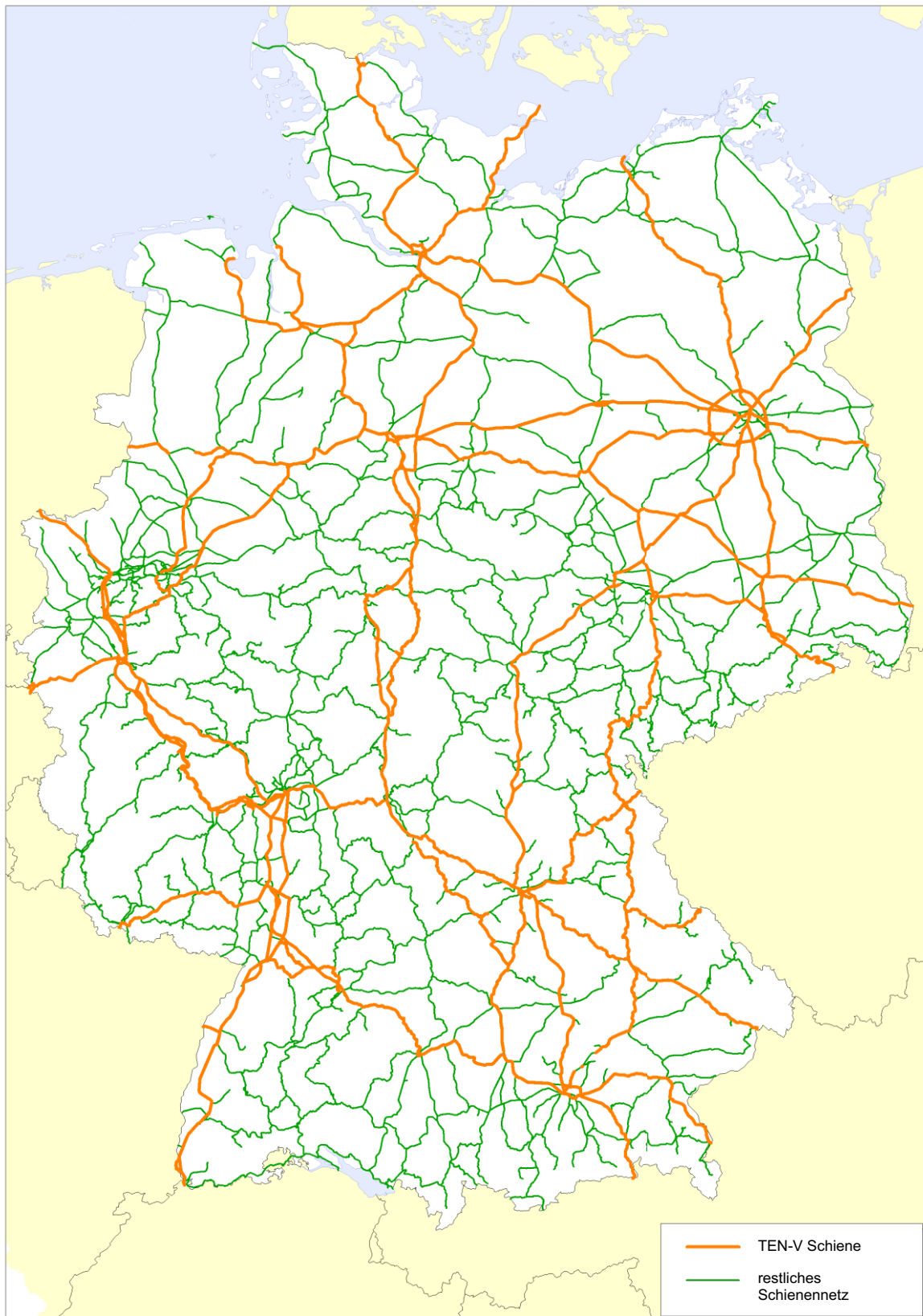


Bild 5-3: TEN-V-Netz Schiene (eigene Darstellung)

5.1.7 Rastanlagen (Straße)

Rastanlagen sind ein relevanter Faktor für den reibungslosen Ablauf im Straßengüterverkehr. Sie dienen der Versorgung sowie als Fahrtpausenstandorte für die Lkw-Fahrer*innen, die wichtigste Ressource im Straßengüterverkehr. Fallen bestimmte Streckenelemente und damit ebenfalls deren Rastanlagen aus, kann dies zu empfindlichen Ablaufstörungen beim Straßengüterverkehr führen. Die Rastanlagen fließen daher bei der Straße als Indikator in die Bewertung der Kritikalität ein.

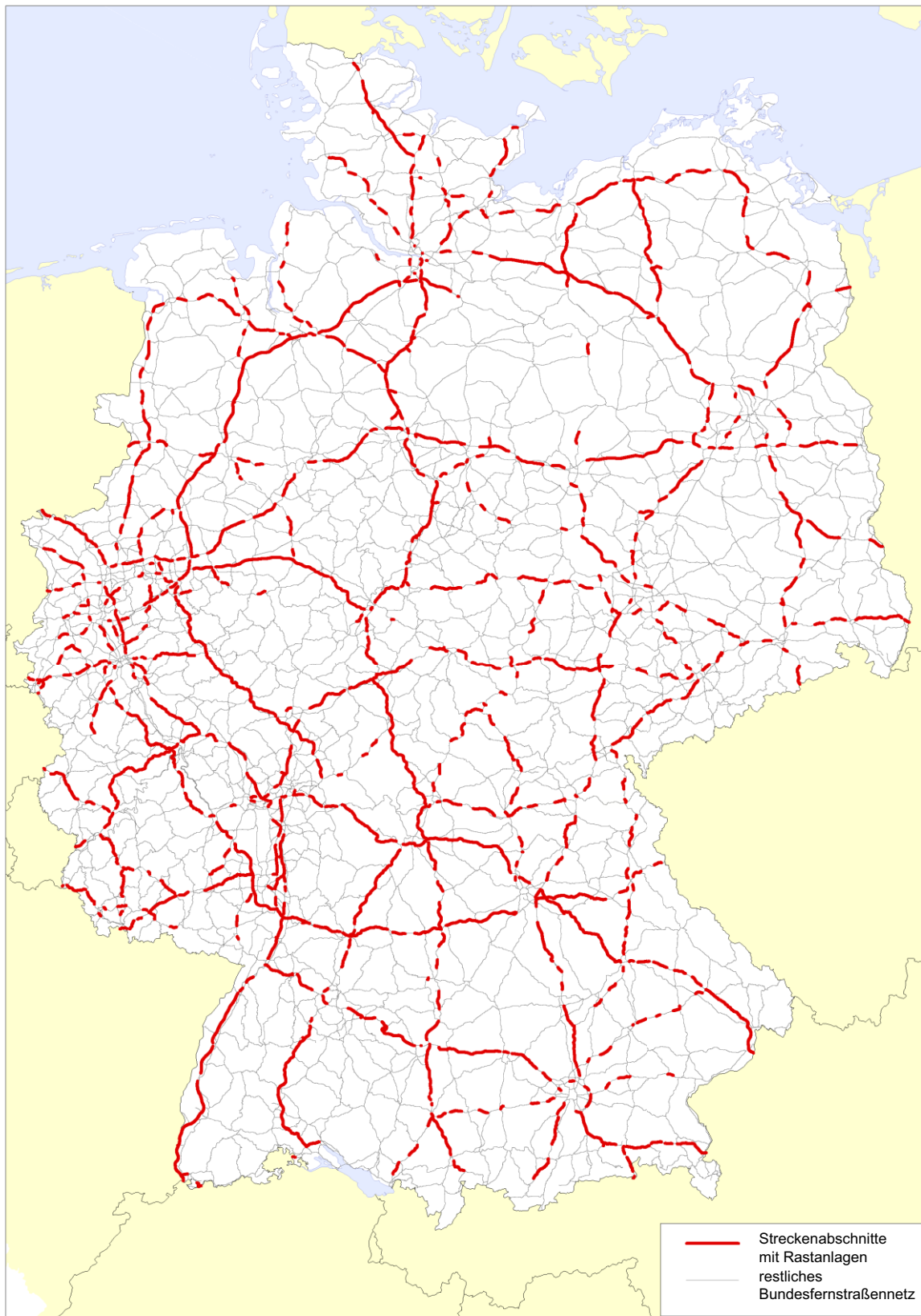


Bild 5-4: Streckenabschnitte mit Rastanlagen (eigene Darstellung)

5.1.8 Verkehrsbeeinflussungsanlagen (Straße)

Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) sind inzwischen für einen reibungslosen Verkehrsablauf unerlässlich. Sie steuern die Geschwindigkeiten auf den Strecken oder die Verkehrsverteilung auf das Gesamtnetz. Fallen Streckenelemente mit VBA-Installationen aus, kann sich dies negativ auf den Verkehrsablauf im Gesamtnetz bzw. in den umliegenden Bereichen auswirken. Strecken mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen fließen daher mit einem Faktor in die Bewertung ein.

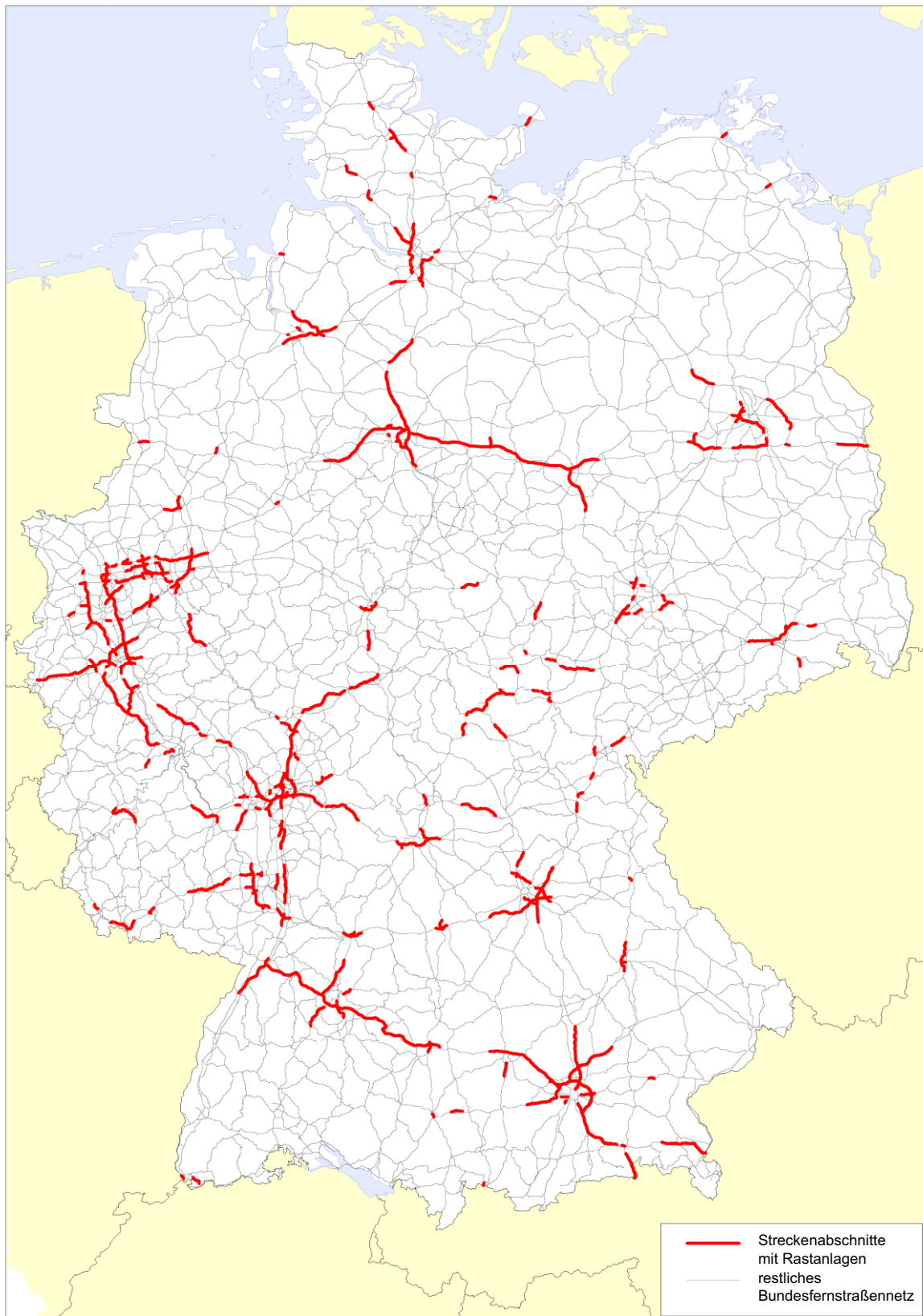


Bild 5-5: Streckenabschnitte mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen (eigene Darstellung)

5.1.9 Zeitverlust durch Ausfall des Netzelementes (Straße)

Die Fragestellung, welche Auswirkungen der Ausfall eines Netzelementes hat, erscheint bei der Ermittlung der Kritikalität von besonderem Interesse. Eine echte Auswertung pro Netzelement kann selbstverständlich im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht durchgeführt werden, da für Untersuchungen dieser Art sehr detaillierte Spezifikationen in ein Modell implementiert werden müssen und die Modellrechnung je Streckensperrung so zeitintensiv ist, dass es für den Rahmen des Projektes überdimensioniert und die Rechenzeit für die Ergebnisproduktion zu groß wäre. Daher sind sehr generalisierte Annahmen für das Gesamtnetz getroffen und sukzessive alle Strecken einmal gesperrt worden. Im Rahmen dieser Berechnung sind die Zeit- und Distanzdifferenzen zwischen den Routensuchen mit und ohne Sperrung ermittelt worden. Für die spätere Einordnung der Strecke in kritische und nicht kritische Abschnitte ist eine Grenze von 15 Minuten gezogen worden. Über 15 Minuten wird als kritisch angesehen, eine Umfahrungszeit, die darunter liegt, wird noch als akzeptabel angesehen. Als Grenze für den Gesamtzeitverlust aller über die Strecke laufenden Relationen sind 6.000 Minuten angesetzt worden. Diese Grenzen sind variabel und können nach Abstimmung angepasst werden.

Die Modellannahmen orientieren sich grob an der Berechnung von Verbindungsfunktionsstufen nach der Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (RIN)⁴⁷. Dabei werden Relationen zwischen Zentralen Orten im unbelasteten Netz gesucht. In dem hier verwendeten Modell werden daher die Verbindungen zwischen den Zentralen Orten der Kategorien Grund-, Mittel- und Oberzentren gesucht. Dabei gilt es jeweils die Relationen zwischen den Grundzentren des nächsten und übernächsten Nachbarschaftsrings zu finden, sowie jeweils zu den nächsten und übernächsten Mittel- und Oberzentren. Die Anzahl der Relationen wird auf diese Weise kleiner, als in einer regulären Matrix eines Verkehrsmodells. Im nächsten Schritt wird die Matrix so aufgebaut, dass jede Relation genau eine Fahrt erhält, die mittels einer Umlegung im Bestwegverfahren auf das Netz gebracht wird, die genau 100 Prozent (also eine Fahrt) in einem Schritt auf das Netz überträgt. Alle Relationen wählen somit genau ihre kürzeste Route, ohne im nächsten Schritt möglicherweise auf Alternativrouten verlagert zu werden. Die Rechenzeit des Modells verringert sich damit erheblich. Die Gesamtzeit der Umlegung über die rund 22.418 zu sperrenden Streckenabschnitte (BISStra-Abschnitte) des Bundesfernstraßennetzes belief sich auf 3 Monate.

⁴⁷ FGSV (2008): Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (2008), Köln.



Bild 5-6: Beispiel für die Auswirkungen einer Streckensperrung (eigene Darstellung)

5.1.10 Schienengüterverkehrskorridore (Schiene)⁴⁸

Die Schienengüterverkehrskorridore haben die effiziente Durchführung grenzüberschreitender Verkehre zum Ziel, um eine Wettbewerbs- und Qualitätssteigerung zu erreichen. Basierend auf der EU-Verordnung 2010/913 und dem Weißbuch für Verkehr der Europäischen Kommission von 2011 soll ein Schienennetz geschaffen werden, das eine verbesserte Qualität besitzt. Dabei werden die Komponenten der Beförderungsdauer, der Kapazität, der Zuverlässigkeit, des Energieverbrauchs, der Emissionen sowie der Kosten genannt.

Die Korridore sollten sich an den European Rail Traffic Management System-Korridoren (ERMTS) und dem TEN-V ausrichten.

⁴⁸ Forschungsinformationssystem – Mobilität und Verkehr (2020): <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/337396/> (zuletzt abgerufen: 31.01.2022)

Von den 11 europäischen SGV-Korridoren verlaufen 6 durch Deutschland



Bild 5-7: Schienengüterverkehrskorridore⁴⁹

Die Schienengüterverkehrskorridore (SGV-Korridore) entsprechen den Vorgaben der EU-Verordnung (EU) 913/2010 und bilden die wichtigsten Schienengüterverkehrsachsen für internationale Verkehre ab. Aus diesem Grund werden auch die Strecken dieser Achsen als besonders kritisch betrachtet. Die SGV-Korridore fließen daher als Indikator in die Bewertung ein.

5.1.11 Häfen (Straße/Schiene), KV-Terminals (Straße/Schiene) und Logistikzentren (Straße/Schiene)

Häfen und Terminals des kombinierten Verkehrs (KV-Terminals) sind intermodale Verknüpfungspunkte mit besonderer Bedeutung für den Güterverkehr. Auch Logistikzentren haben eine gewichtige Bedeutung bei der Warenverteilung. Strecken des Schienen- und Straßennetzes in direkter Relation zu Einrichtungen dieser Art erhalten einen Kritikalitätsfaktor. Dabei werden ganze Netzelemente mit der Kritikalität versehen, sofern diese keine Alternativen zur Erreichbarkeit der o. g. Standorte haben. Diese Indikatoren fließen jeweils in das Gesamtergebnis ein.

⁴⁹ Deutsche Bahn: https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/international/europ_korridore/europ_korridore_allg-9850048 (zuletzt aufgerufen: 01.05.2023)

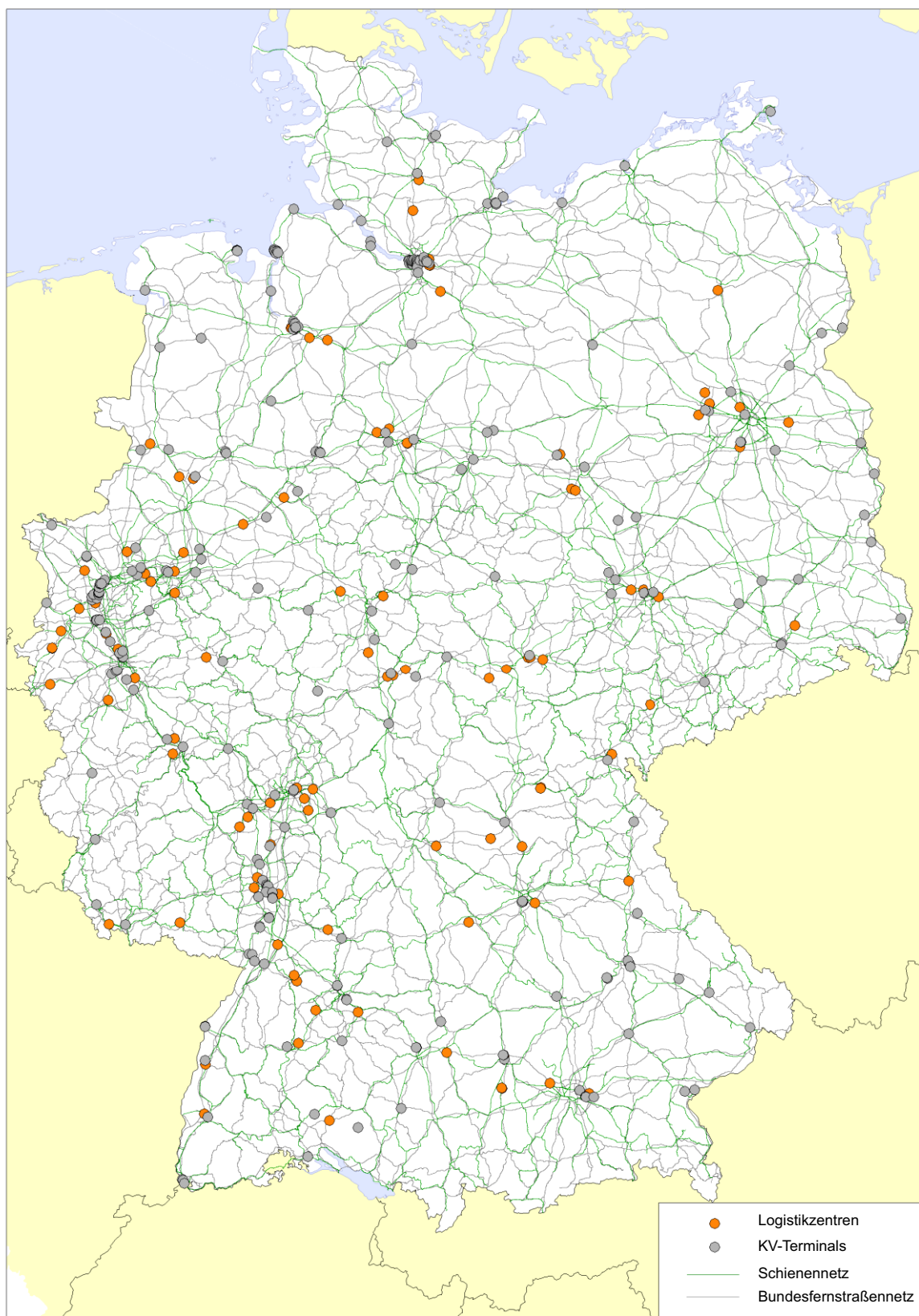


Bild 5-8: Gateways für Güterverkehr und Logistikzentren (eigene Darstellung)

5.1.12 740-Meter-Netz (Schiene)

Das sogenannte „740-Meter-Netz“ ist ein Maßnahmenprogramm des Bundesverkehrswegeplans 2030 zur Steigerung der Kapazität auf der Schiene. Da die Implementierung von zusätzlichen Zügen in die bestehenden Fahrpläne auf den hochbelasteten Strecken oft schwierig ist, wurde ein im restlichen Europa bereits etabliertes System der Zugverlängerung auf 740 Meter in den Fokus gerückt. Zusätzlich werden dadurch eine Verringerung der CO₂-Emissionen durch reduzierte Energieverbräuche sowie Verlagerungswirkungen von der Straße auf die Schiene erwartet.

Der Einsatz der längeren Züge scheitert bisher vor allem an fehlenden Überholmöglichkeiten, Ausweichgleisen und nötigen Anpassungen der Signaltechnik.⁵⁰

Im Zuge dieses Programms ist ein 740-Meter-Netz entwickelt worden, in dessen Zuge die Anpassungen durchgeführt werden sollen und das als zusätzlicher Indikator für die Kritikalität betrachtet werden kann. Die Kritikalität dieses Netzes fließt in das Gesamtergebnis ein.

⁵⁰ DB Netz AG: <https://bauprojekte.deutschebahn.com/p/sangerhausen-bf> (zuletzt abgerufen: 30.04.2023).

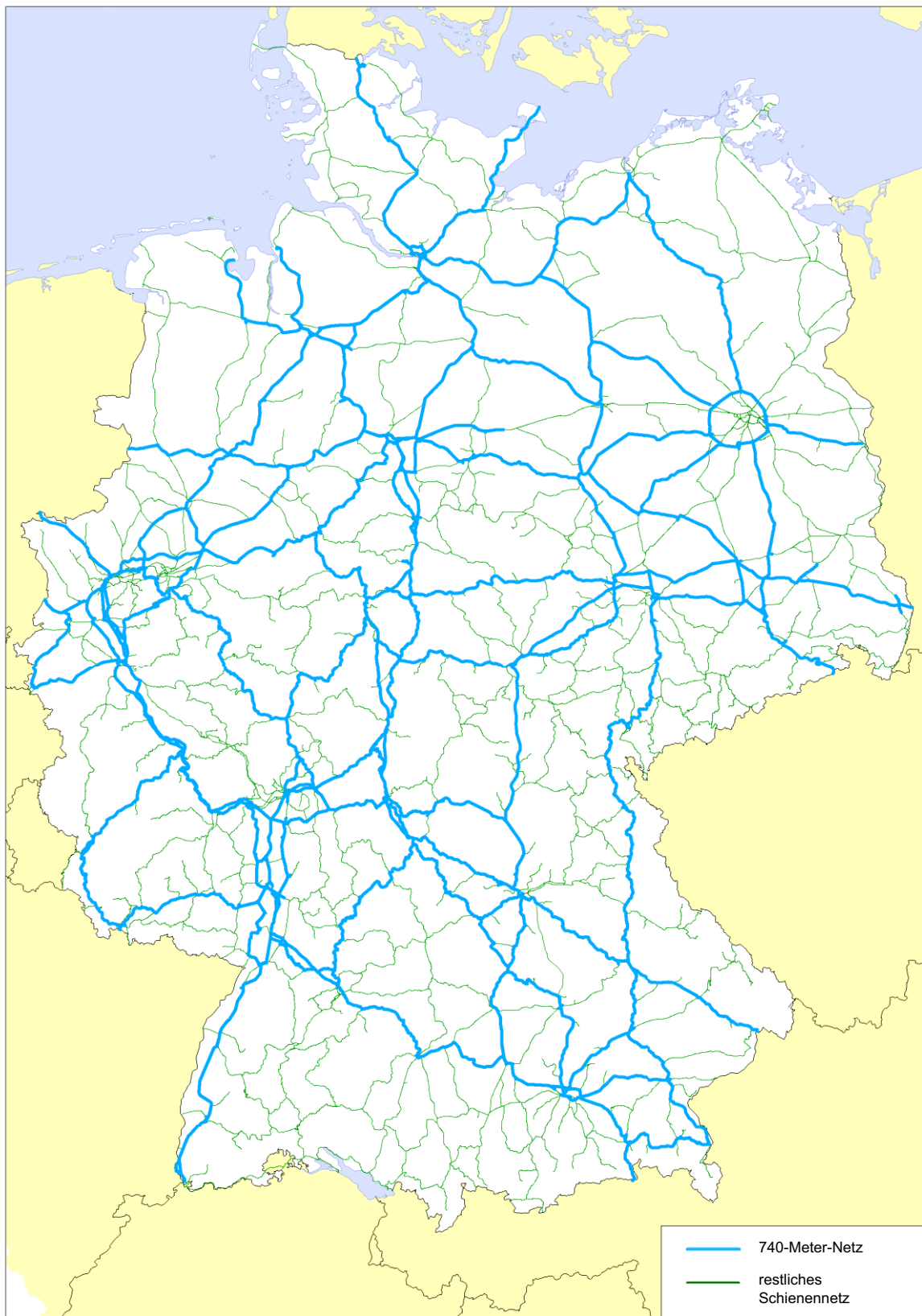


Bild 5-9: 740-Meter-Netz (eigene Darstellung)

5.1.13 Main Supply Routes (Straße)

Main Supply Routes dienen der Versorgung mit Gütern für militärische oder humanitäre Zwecke oder auch als Routen für die Durchführung militärischer Operationen so wie etwa Truppentransporte. Da diese Routen sehr schnell und eindeutig identifiziert werden können, können sie als potenzielle Ziele für Angriffe betrachtet werden.

Die derzeit definierten Routen dieses strategischen Netzes befinden sich als Teilmenge des Militärstraßengrundnetzes (MSGN vgl. Kapitel 5.1.14) mit einer Länge von ca. 7.304 km fast ausschließlich auf dem Netz der Bundesautobahnen. Lediglich 56 km befinden sich auf Bundesstraßen. Dabei dominieren vor allem die Ost-West-Verbindungen, die von besonderer strategischer Bedeutung sind.

5.1.14 Militärstraßengrundnetz und Hauptzivilgrundnetz (Straße)

In der „Notfallplanung Straßenbau von 1999“ des damaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen sind die Grundlagen des Straßenbaus in Notsituationen der zivilen Verteidigung festgehalten. Um das Straßennetz aufgrund seiner Schlüsselfunktion in der Sicherung der Versorgung auch in Notsituationen zu schützen, gilt es, die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Straßennetzes zu gewährleisten.

Dabei spielen vor allem das zivile und das militärische Verkehrsaufkommen eine entscheidende Rolle, weshalb „aus dem Netz der überörtlichen Straßen ein besonderes Straßennetz, das sog. Hauptzivil- und Militärstraßengrundnetz (HZGN/MSGN) entwickelt [wurde]“⁵¹.

Während in einer Notsituation der Zivilverkehr vor allem durch Versorgungsleistungen von Bevölkerung und Wirtschaft geprägt ist, werden Straßen für den militärischen Verkehr vor allem durch Kolonnen- und Schwerverkehr gekennzeichnet. Dadurch ergeben sich insbesondere für das MSGN bestimmte Anforderungen an die Verkehrsinfrastruktur, besonders Brückenbauwerke, in Bezug auf militärische Lastenklassen.

Durch eine Verknüpfung der beiden Netze soll zwar „die unabhängige Planung und Durchführung der Bewegungen [...] beiden Bedarfsträgern ein angemessener Anteil an leistungsfähigen Straßen zur Verfügung gestellt werden“⁵¹, bei Bedarf eine wechselseitige Nutzung jedoch nicht ausgeschlossen werden.

„Das Kartenwerk Hauptzivil- und Militärstraßengrundnetz bildet die Grundlage bei der Berücksichtigung von Belangen des militärischen Straßen-/Schwerverkehrs und dient auch der Abwicklung krisenbedeutsamer ziviler und militärischer Straßentransportleistungen“⁵¹. Dabei bestehen beide Netze aus Axialstraßen und Lateralstraßen, welche durch weitere Verbindungsstraßen ergänzt werden, wodurch eine flächendeckende und systematische Erschließung des gesamten Bundesgebiets gewährleistet wird. Eine Aktualisierung der Netze zur Einbindung neueröffneter Streckenabschnitte insbesondere des Bundesfernstraßennetzes, erfolgt dabei laut „Notfallplanung Straßenbau von 1999“ regelmäßig.

⁵¹ Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (1999): „Notfallplanung Straßenbau. Grundlagen des Straßenbaues in Notsituationen (Zivile Verteidigung-ZV) Planungen, Vorbereitungen, Durchführung“.

5.1.15 Elektrifizierung (Schiene)

Die Informationen über die Elektrifizierung der Strecken stammen aus dem offiziell zugänglichen Open Data Portal⁵². Der Datensatz der DB Netz AG hat den Stand Oktober 2019.

Da bestimmte Züge nur elektrisch fahren, bildet die Elektrifizierung der Strecke einen begrenzenden Faktor und bietet sich somit als Indikator für die Kritikalität an. Da Ersatzzüge auch immer nicht elektrifiziert fahren können, fließt dieser Indikator mit 0,5 nur in geringerem Maße in die Ermittlung der Gesamtkritikalität ein. Dieser Faktor wird aus dem genannten Grund so angesetzt und wird zusätzlich noch durch die Relevanzanalyse (vgl. Kapitel 5.2.3) gewichtet.

⁵² <https://data.deutschebahn.com/> (zuletzt abgerufen am 1.3.2023)

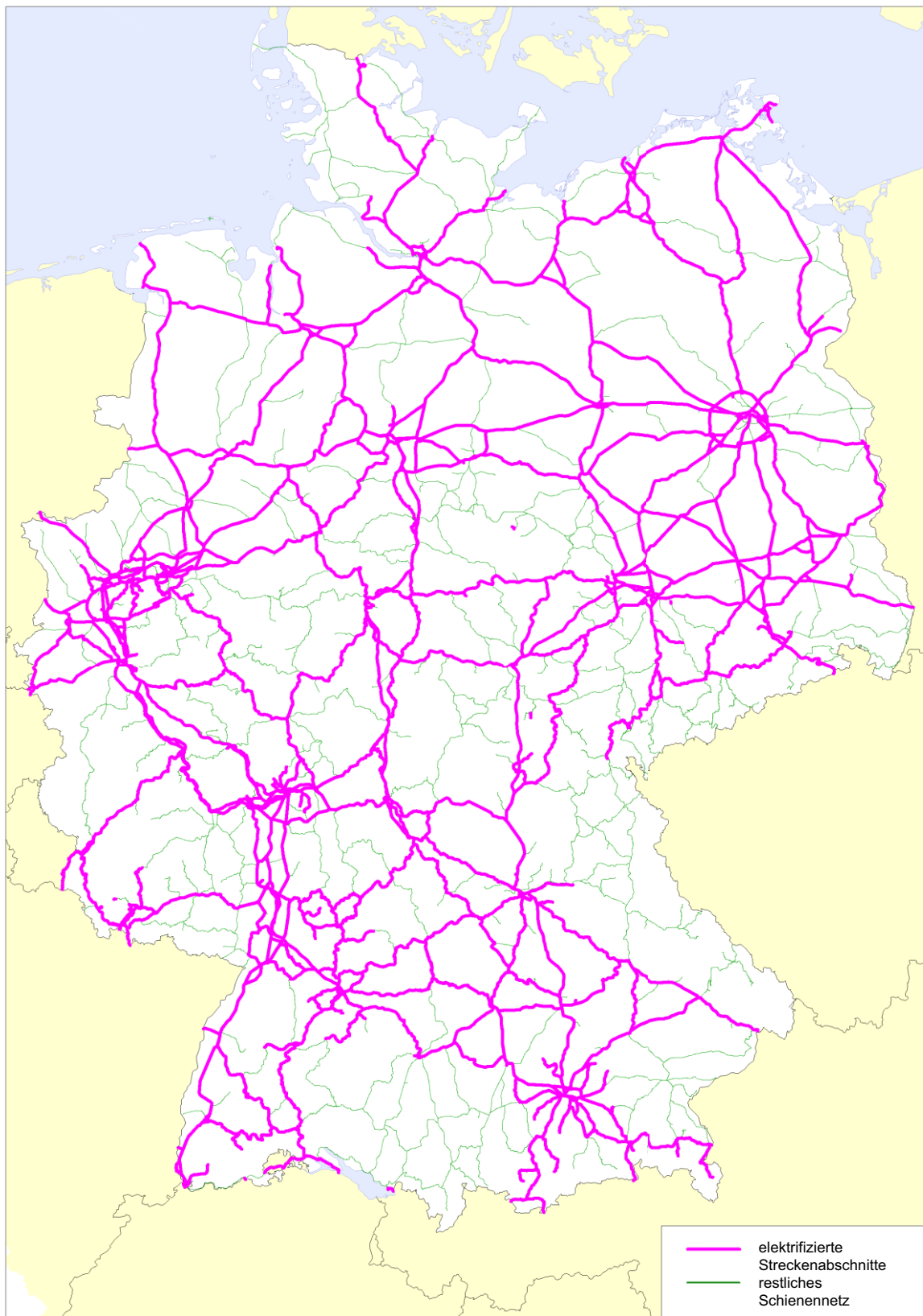


Bild 5-10: Elektrifizierung des Schienennetzes (eigene Darstellung)

5.1.16 Nutzung (Schiene)

Die Informationen über die Elektrifizierung der Strecken stammen aus dem offiziell zugänglichen Open Data Portal⁵³. Der Datensatz der DB Netz AG hat den Stand Oktober 2019.

Über das Attribut der „Nutzung“ wird die Relevanz für Personen- oder Güterverkehr bestimmt, da beide Nutzungsarten bei der Schiene verschiedene Kritikalitätswerte erhalten (vgl. Kapitel 5.3). So fließen die Schienenelemente, die dem Güterverkehr dienen entsprechend der Gewichtung aus der Relevanzanalyse (vgl. Kapitel 5.2.3) in die Kritikalitätsbewertung der Schienen für den Güterverkehr ein. Die Schienenelemente, die dem Personenverkehr dienen, erhalten einen der Relevanzanalyse entsprechend gewichteten Wert. Die Streckenelemente, die beide Nutzungsarten abdecken, erhalten die jeweils gewichteten Faktoren für Personen- bzw. Güterverkehr.

⁵³ <https://data.deutschebahn.com/> (zuletzt abgerufen am 1.3.2023)

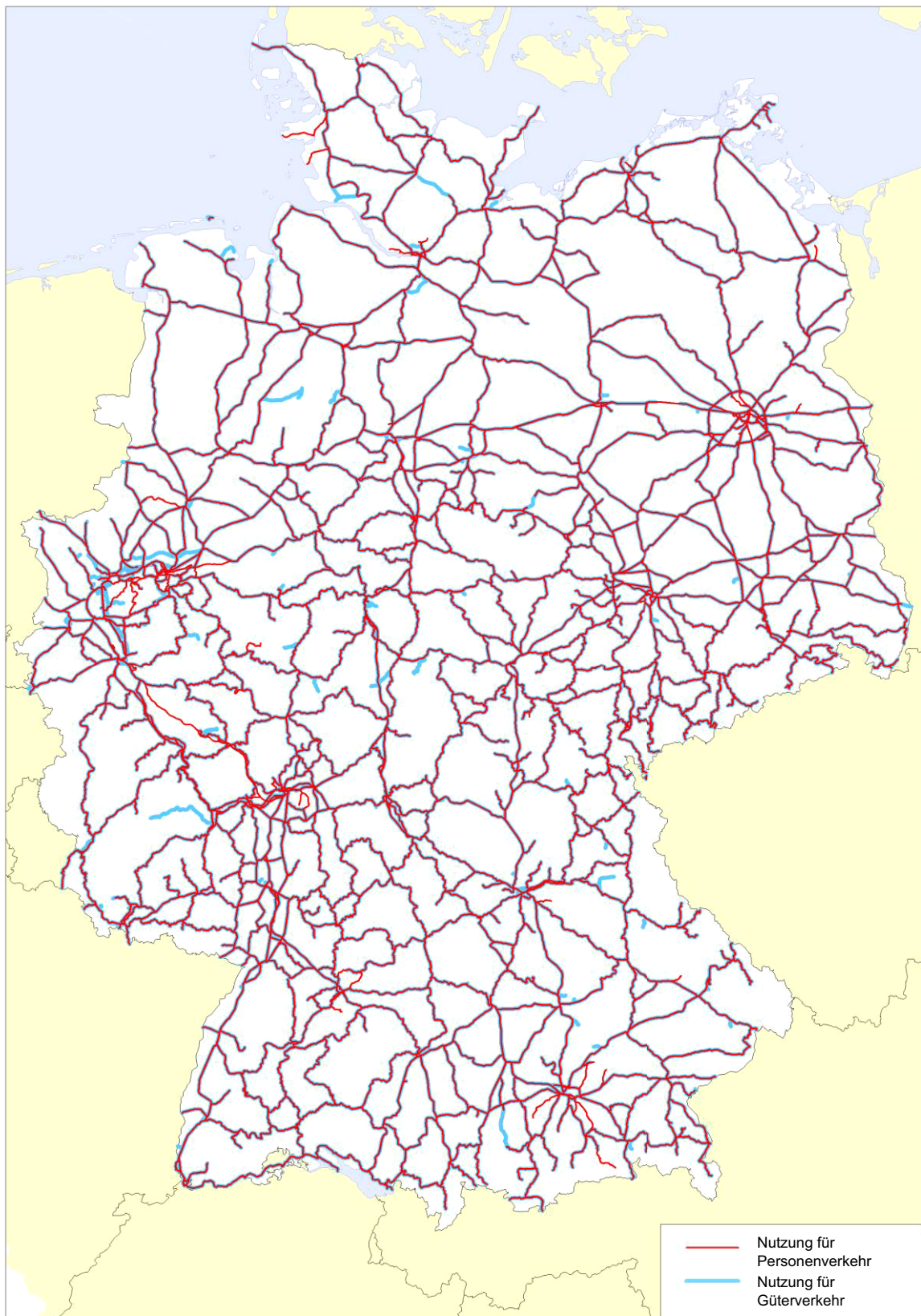


Bild 5-11: Nutzung des Schienennetzes (eigene Darstellung)

5.1.17 Geschwindigkeit (Schiene)

Die Informationen über die Geschwindigkeiten der Strecken stammen aus dem offiziell zugänglichen Open Data Portal⁵⁴. Der Datensatz der DB Netz AG hat den Stand Oktober 2019.

Das Attribut der Geschwindigkeit wird ebenfalls nach Personen- und Güterverkehr unterschieden. Besonders kritisch sind die Strecken des Personenverkehrs, die besonders schnell befahren werden können, da sie einen hohen Nutzen erreichen. Beim Güterverkehr liegt die Maximalgeschwindigkeit weit unter der des Personenverkehrs, so dass hier eine andere Kategorisierung eingeführt wird (vgl. Kapitel 5.2.1).

Da die Geschwindigkeit kein Ausschlusskriterium ist und eine Hochgeschwindigkeitsstrecke durchaus durch langsamere Verbindungen ersetzt werden kann, fließt dieser Indikator nur mit einem Faktor von 0,75 in die Bewertung ein. Dieser Faktor wird aus dem genannten Grund so angesetzt und wird zusätzlich noch durch die Relevanzanalyse (vgl. Kapitel 5.2.3) gewichtet.

⁵⁴ <https://data.deutschebahn.com/> (zuletzt abgerufen am 1.3.2023)

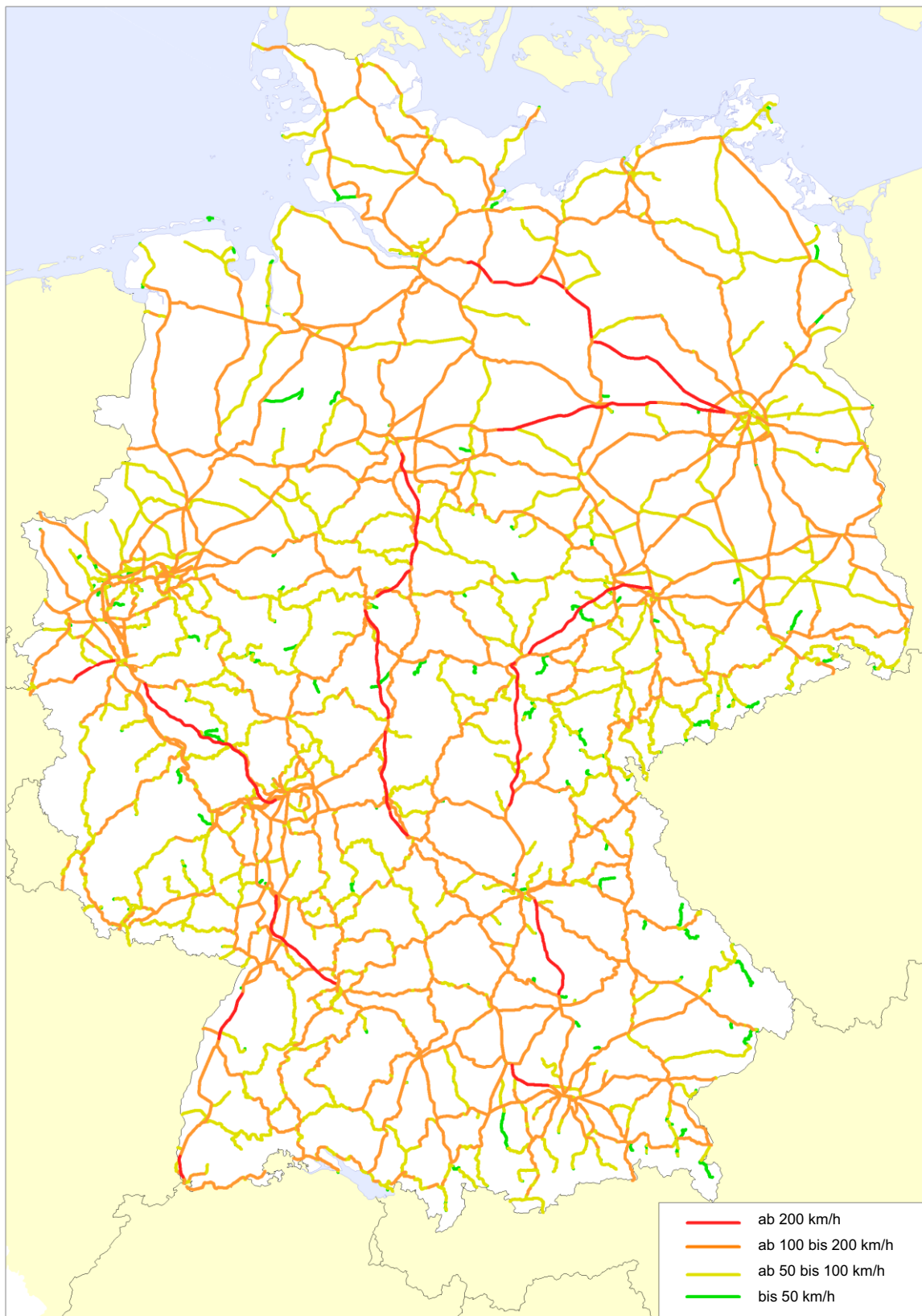


Bild 5-12: Mögliche Geschwindigkeiten im Schienennetz (eigene Darstellung)

5.1.18 Gleisanzahl (Schiene)

Die Informationen über die Gleisanzahl der Strecken stammen aus dem offiziell zugänglichen Open Data Portal⁵⁵. Der Datensatz der DB Netz AG hat den Stand Oktober 2019.

Die Gleisanzahl ist als Indikator aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Ein Ausfall auf einer Strecke mit mehreren Gleisen kann bedeuten, dass diese Strecke durch die zusätzlichen Gleise weniger kritisch ist, da möglicherweise die Verkehre über diese Streckenelemente abwickelbar sind. Grundsätzlich wird die Fragestellung im Kontext dieser Untersuchung jedoch so verstanden, dass durch äußere Bedingungen der ganze Streckenzug nicht mehr nutzbar ist. Dann ist eine Vielzahl betroffener Gleise ein Indikator für eine höhere Kritikalitätseinordnung der Strecke. Der Indikator „Gleisanzahl“ fließt demnach in die Bewertung ein.

⁵⁵ <https://data.deutschebahn.com/> (zuletzt abgerufen am 1.3.2023)

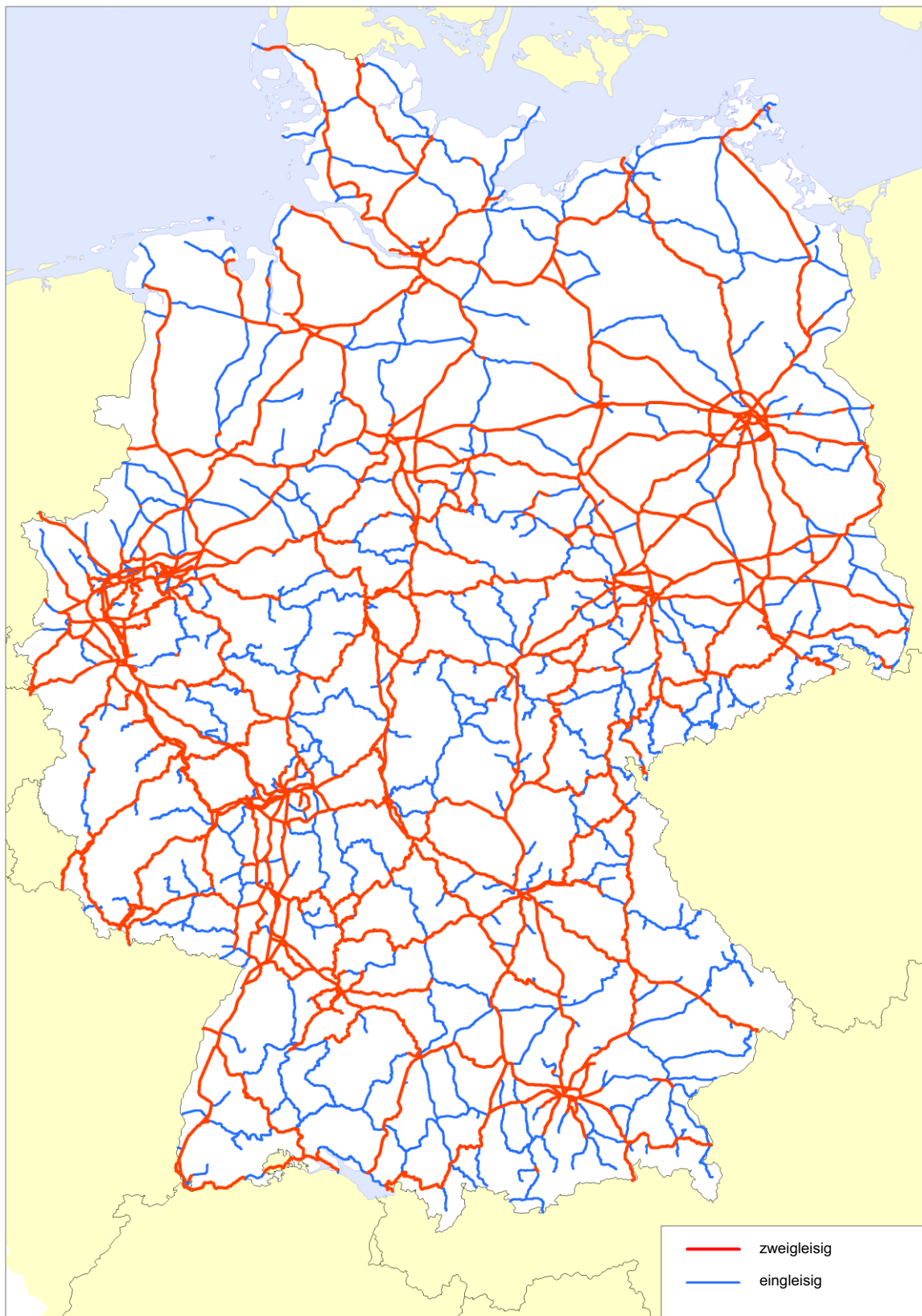


Bild 5-13: Gleisanzahl (eigene Darstellung)

5.1.19 Große Brücken und kritische Brücken (Straße/Schiene)

Im Rahmen des Forschungsprojektes „FE 15.0667/2019/ARB Erarbeitung einer neuen Notfallplanung für den Bereich Straßenbau, Behelfsbrückenbedarf für Zwecke der zivilen Verteidigung“ wurden kritische Brücken identifiziert. Die Kritikalität dieser Brücken beruht zum einen auf der tatsächlichen Vulnerabilität der eigentlichen Konstruktion, die durch verschiedene Faktoren bestimmt wurde und zum anderen auf der Bedeutung, die dem zugehörigen Netzelement innewohnt. An dieser Stelle wurden ähnliche Indikatoren herangezogen wie in der vorliegenden Untersuchung (z. B. Main Supply Routes, Bruttowertschöpfung, VFS, DTV etc.). Es liegt daher eine gewisse Redundanz vor, die jedoch einem realistischen Ergebnis nicht widerspricht.

Für die Schiene ist der Datensatz der „großen Brücken“ der DB Netz AG herangezogen worden. Dieser weist die Brücken mit einer Länge über 150 Meter aus. Dieser ist mit dem Streckennetz verknüpft worden. Liegt mindestens eine Brücke auf einem Streckenelement vor, erhält es einen Malus bezüglich der Kritikalitätseinstufung, der mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert und dem Gesamtkritikalitätswert hinzugefügt wird.

5.1.20 BGL-Ausweichstrecken

Der Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (BGL) gibt regelmäßig eine Ausweichstreckenkarte heraus, die mit den zuständigen Verkehrsbehörden abgestimmt wird. Sie ermöglicht einen Überblick, welche Strecken vom Ferienfahrverbot betroffen sind und welche Alternativrouten bestehen. Das Fahrverbot gilt „nach der Ferienreiseverordnung in den Monaten Juli und August in Deutschland an allen Samstagen [...] für Solo-Lkw über 7,5 t zGM, Lkw mit Anhängern sowie Sattelzügen in der Zeit von 07:00 Uhr bis 20:00 Uhr“ für zahlreiche Autobahn- sowie einzelne Bundesstraßenabschnitte⁵⁶. Die Ausweichrouten erhalten somit zusätzliches Gewicht bei Ermittlung der Kritikalität sofern sie über Bundesfernstraßen abgewickelt werden.

5.1.21 Alternativlosigkeit (Intermodalität)

Bei Einschätzung der Alternativlosigkeit sind die intermodalen Verknüpfungspunkte auf nahe Alternativen überprüft worden. Bild 5-14 zeigt schematisch die Herangehensweise bei der Überprüfung von Alternativlosigkeit. Liegen im Umfeld eines intermodalen Verknüpfungspunkts keine Alternativen, ist der Verknüpfungspunkt als kritisch einzustufen. In dem Bild werden Alternativen sichtbar, so dass der wegfallende Verknüpfungspunkt nicht als kritisch einzustufen ist.

Zusätzlich sind die Zulaufstrecken der Schiene auf Alternativlosigkeit geprüft worden. Dabei wurde die Anzahl der Zulaufstrecken überprüft und dementsprechend eingeordnet. Verknüpfungspunkte mit mehreren Zulaufstrecken sind weniger kritisch einzustufen, als diejenigen mit zwei oder weniger Strecken (vgl. Bild 5-15). Auch Bild 5-16 zeigt auf, wie die Kritikalität der Alternativlosigkeit überprüft wurde. Die roten Streckenelemente sind für die Erreichbarkeit der intermodalen Verknüpfungspunkte unerlässlich und somit als kritisch einzustufen. Auch die Verknüpfungspunkte sind somit kritisch, da sie nicht ausreichende Redundanz bei der Erreichbarkeit über die Schiene aufweisen.

⁵⁶ Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung (2022): BGL-Ausweichstreckenkarte 2022 zum Download: <https://www.bgl-ev.de/web/fahrerinfos/ferienfahrverbot.htm> (zuletzt aufgerufen: 02.05.2023).

Für die Bundesfernstraßen ist dies im Zusammenhang mit den Verknüpfungspunkten nicht durchgeführt worden, da das Straßennetz notfalls auch im nachgeordneten Bereich in der Regel ausreichend redundant ist, so dass hier keine absolute Alternativlosigkeit identifiziert werden kann.

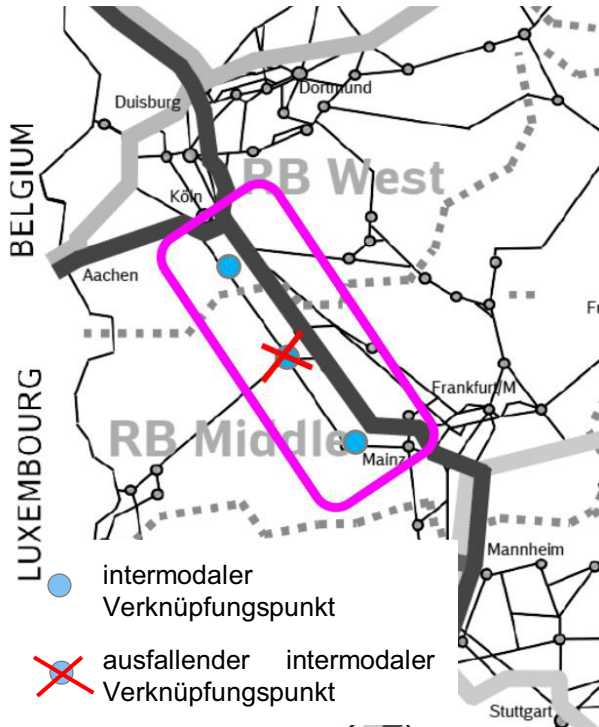


Bild 5-14: Ermittlung der Alternativen für intermodale Verknüpfungspunkte (eigene Darstellung auf Grundlage der Darstellung der DB Netz AG⁵⁷)

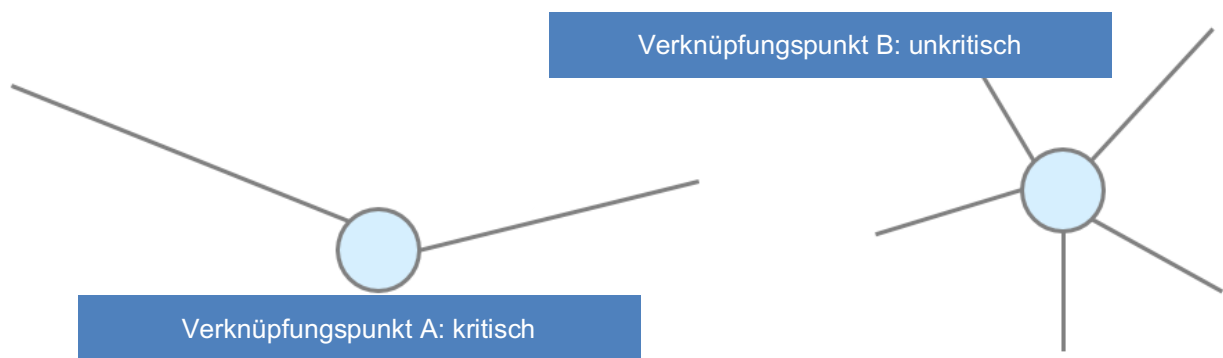


Bild 5-15: Ermittlung der Alternativlosigkeit der Erschließungsstrecken (eigene Darstellung)

⁵⁷ Deutsche Bahn (2020): Europäische Schienengüterverkehrskorridore in Deutschland <https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/9729878/c0995eacc3767bc8d2e97f93a00757c1/Karte-SGV-Korridore-Deutschland-data.pdf> (zuletzt aufgerufen: 02.05.2023)

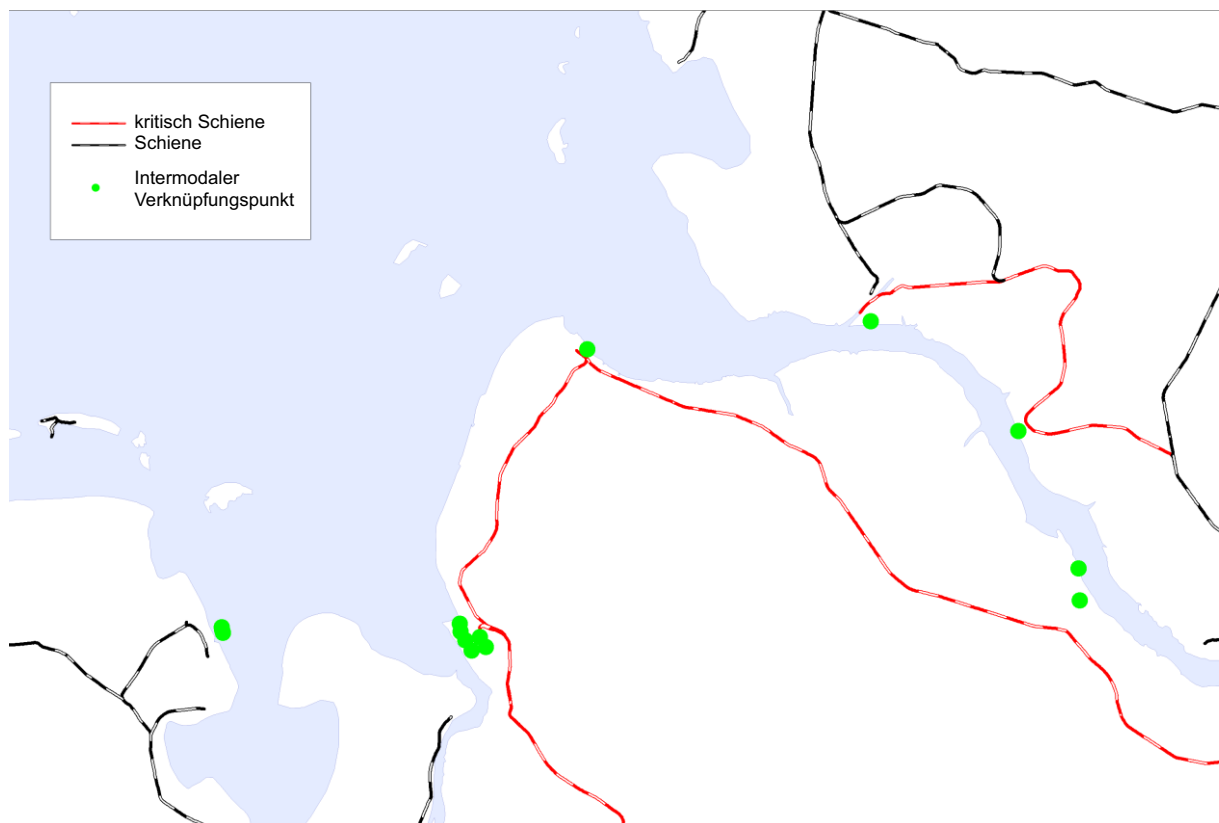


Bild 5-16: Beispiel für die Einordnung der Alternativlosigkeit bei der Erreichbarkeit eines intermodalen Verknüpfungspunktes im Bereich Schiene (eigene Darstellung)

5.1.22 Clusterlage (Intermodalität)

Über die Nachbarschaftsbestimmung mittels einer Clusteranalyse sind diejenigen Verknüpfungspunkte identifiziert worden, die in enger Nachbarschaft in weniger als einem Kilometer Abstand voneinander lokalisiert sind. Besteht eine enge Nachbarschaft, erhöht dies in der Bewertung die Kritikalität, da in einem Störfall größeren Ausmaßes, wie z. B. gefährliche Naturereignisse oder krieglerische Handlungen, die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall mehrerer Elemente auf Grund der räumlichen Nähe sehr hoch ist. Wird ein Cluster dieser Art durch ein extremes Ereignis tangiert, fallen möglicherweise mehrere relevante Infrastrukturen aus.

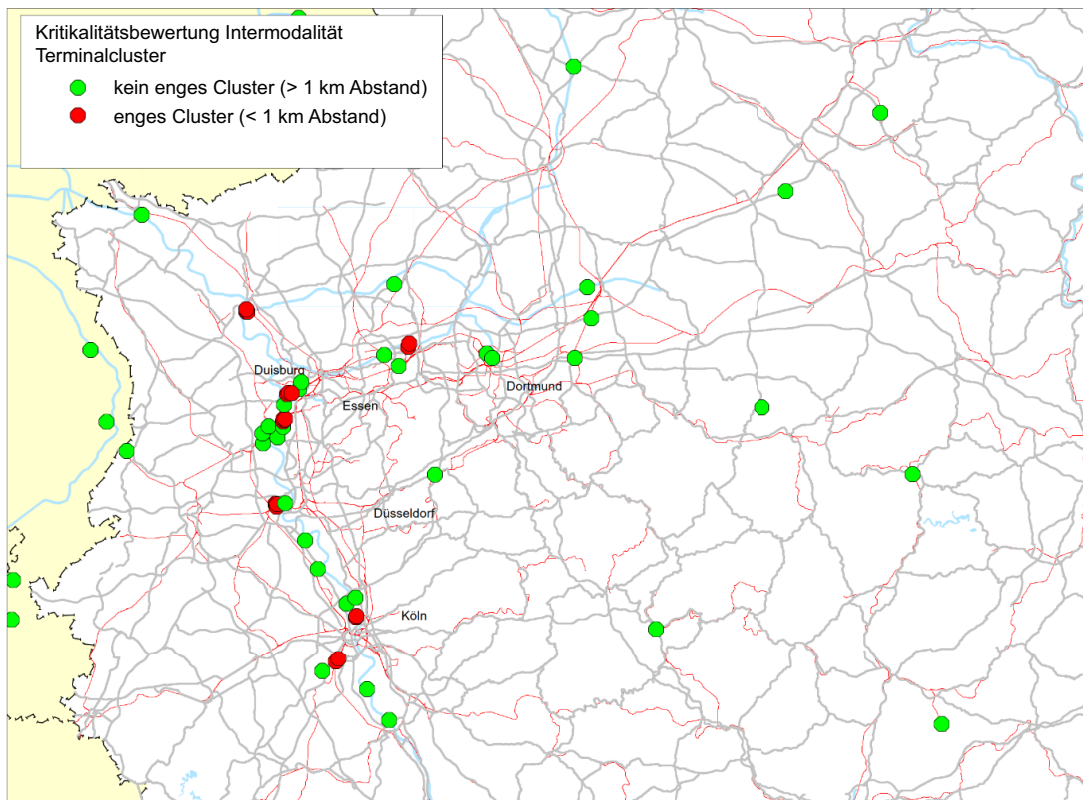


Bild 5-17: Beispiel für die Clusterlage intermodaler Verknüpfungspunkte in Nordrhein-Westfalen (eigene Darstellung)

5.2 Anwendung der Indikatoren auf die Streckennetze

Die genannten Indikatoren werden auf den jeweiligen Verkehrsträger übertragen und den Streckenelementen zugeordnet. Innerhalb des einzelnen Indikators wird die Bandbreite der Ausprägung überprüft und ein Punktesystem zur Einstufung der Kritikalität erstellt (z. B. Tabelle 5-1). Eine weitere Möglichkeit ist die binäre Klassifikation z. B. bei der Einordnung der Main Supply Routes, hier gibt es nur die Bewertung, ob das Streckenelement der Kategorie angehört oder nicht (vgl. Tabelle 5-2). Die Bewertungen werden anschließend additiv zusammen mit den anderen Indikatoren übertragen, so dass sich ein Gesamtindikator je Streckenelement ergibt. Die Gewichtung der Einzelindikatoren wird mithilfe der Relevanzanalyse festgelegt.

Züge pro Tag	Einstufung der Kritikalität
< 100	0
100 – 200	1
> 200	2

Tab. 5-1: Beispiel für die klassifizierte Einstufung der Kritikalität eines Indikators

Element der Main Supply Routes	Einstufung der Kritikalität
nein	0
ja	1

Tab. 5-2: Beispiel für eine binäre Einstufung der Kritikalität eines Indikators

5.2.1 Bewertung der Indikatoren für den Verkehrsträger Schiene

In folgender Tabelle sind jeweils die Indikatoren für den Verkehrsträger Schiene und die Art ihrer Bewertung aufgelistet.

Indikator Schiene	Art der Bewertung
Zugbelastung	Klassifiziert
Elektrifizierung	Binär
große Brücken > 150m*	Binär*
Geschwindigkeit	Klassifiziert
SGV-Korridor	Binär
740-Meter-Netz	Binär
Zweigleisig	Binär
KV-Terminal/Hafen	Binär
Logistikzentrum	Binär
Nutzung Güterverkehr	Binär
Zugbelastung Güterverkehr	Klassifiziert
Anteil des Güterverkehrs	Klassifiziert
Bruttowertschöpfung >= 60 Mrd.**	Binär**
TEN	Binär
Nutzung Personenverkehr	Binär
* Bei der Einordnung der Brücken in große und nicht große Brücken handelt es sich genaugenommen schon um eine Klassifizierung. Diese Einordnung entstammt jedoch einem Datensatz der DB Netz AG und ist als binäres Kriterium (ja/nein) übernommen worden. ** Bei der Bruttowertschöpfung handelt es sich ebenfalls um eine Klassifizierung der vorhandenen Werte, die jedoch vorab getroffen worden ist, so dass letztlich nur noch die binäre Einordnung (größer 60 Mrd.: ja/nein) getroffen werden muss.	

Tab. 5-3: Bewertungsart der Indikatoren

Im Folgenden wird kurz die Art der Klassifizierung der entsprechenden Indikatoren aufgezeigt. Es ist darauf geachtet worden, für jeden klassifizierbaren Indikator einen maximalen Kritikalitätswert von 2 zu erreichen. Da die binären Einordnungen der Indikatoren entweder als 0 oder 1 bewertet worden sind, konnte so eine zu große Abweichung von diesen Wertungen verhindert werden. Es gibt somit die binäre Wertung „ja/nein“, die mit den Ziffern 1 und 0 übersetzt wird und in der Interpretation als „kritisch“ versus „unkritisch“ zu verstehen ist. Bei den klassifizierbaren Indikatoren ist dann darauf geachtet worden, dass die Dreistufigkeit beibehalten wird. Diese gliedern sich dann in die Ziffern 0 bis 2, die demnach „geringe Kritikalität“, „mittlere Kritikalität“ und „besondere Kritikalität“ anzeigen sollen. Es wurde dann bei der Einteilung der Klassen nach dem Schema der gleichen Bereiche vorgegangen und von dem gerundeten Maximalwert ausgehend eine Dreiteilung der Kenngrößen vorgenommen. Die Klassifizierung wurde dann je nach Vorkommen der Werte nach oben oder unten korrigiert, falls nötig.

Zugbelastung

Die Zugbelastung des Modells gibt einen Maximalwert von 328 Zügen pro Tag an. Es wurde daher eine von Null bis 328 dreiteilig abgestufte Klassifizierung vorgenommen. Dabei verteilt sich das Aufkommen auf die Streckenabschnitte wie folgt.

Züge pro Tag	Längenanteil der Streckenelemente
< 100	89,6 %
100 – 199	10,2 %
>= 200	0,2 %

Die vorliegenden Zugbelastungszahlen sind daher dieser Abstufung folgende klassifiziert worden:

Züge pro Tag	Einstufung der Kritikalität
< 100	0: geringe Kritikalität
100 – 200	1: mittlere Kritikalität
>= 200	2: besondere Kritikalität

Tab. 5-4: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Zugbelastung

Geschwindigkeit

Streckenabschnitte, die eine besonders hohe Geschwindigkeit ermöglichen, werden wegen des hohen Nutzens innerhalb ihrer Nutzungskategorie als besonders kritisch betrachtet. Die möglichen Geschwindigkeiten werden je nach Nutzungsart klassifiziert. Da im Güterverkehr nicht die gleichen hohen Geschwindigkeiten wie im Personenverkehr erreicht werden, werden die Kritikalitätswerte anders eingeteilt. Dabei wird versucht die Dreistufigkeit (geringe, mittlere, besondere Kritikalität) zu erreichen. Die vorliegenden Informationen zu den möglichen Geschwindigkeiten auf den Schienenstrecken werden demnach wie folgt klassifiziert:

Geschwindigkeit (km/h)	Einstufung der Kritikalität für den Schienengüterverkehr	Einstufung der Kritikalität für den Schienenpersonenverkehr
< 50	0	0
50 – 100	1	0
100 – 200	2	1
200 – 300	-	2

Tab. 5-5: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Geschwindigkeit auf den Schienenstrecken

Zugbelastung im Güterverkehr

Die Zugbelastung des Modells gibt einen Maximalwert von 176 Güterzügen pro Tag an. Es wurde daher eine von Null bis 176 dreiteilig abgestufte Klassifizierung vorgenommen. Dabei verteilt sich das Aufkommen auf die Streckenabschnitte wie folgt.

Güterzüge pro Tag	Längenanteil der Streckenelemente
< 50	92,0 %
50 – 99	7,2 %
>= 100	0,8 %

Die vorliegenden Zugbelastungszahlen werden wie folgt klassifiziert:

Güterzüge pro Tag	Einstufung der Kritikalität
< 50	0
50 – 100	1
>= 100	2

Tab. 5-6: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Zugbelastung im Güterverkehr

Anteil Güterverkehr an der Gesamtbelastung

Je mehr Güterverkehr auf dem Streckenelement stattfindet desto kritischer ist es zu beurteilen. 60 Prozent Güterverkehrsanteil und darüber wird im vorliegenden Projekt als besonders kritisch eingeordnet und kommt nur zu etwa 10 Prozent vor.

Anteil Güterverkehr in Prozent	Längenanteil der Streckenelemente
< 30	66,0 %
30 – <60	24,2 %
>= 60	9,8 %

Die vorliegenden Güterverkehrsanteile werden wie folgt klassifiziert:

Anteil Güterverkehr in Prozent	Einstufung der Kritikalität
< 30	0
30 – <60	1
>= 60	2

Tab. 5-7: Einstufung der Kritikalität für den Indikator des Güterverkehrsanteils

5.2.2 Bewertung der Indikatoren für den Verkehrsträger Straße

In folgender Tabelle sind jeweils die Indikatoren für den Verkehrsträger Straße und die Art ihrer Bewertung aufgelistet.

Indikator Straße	Art der Bewertung
VFS O oder I	Binär
Militärisches Straßengrundnetz/Hauptzivilstraßengrundnetz	Binär
Kritische Brücken	Binär
Zeitdifferenz bei Ausfall im Schnitt je Relation ≥ 15 Min*	Binär
Gesamtzeitdifferenz bei Ausfall ≥ 6.000 Min*	Binär
Verkehrsbeeinflussungsanlagen	Binär
KV-Terminal/Hafen	Binär
Rastanlage	Binär
Logistikzentrum	Binär
Verkehrsstärke gesamt	Klassifiziert
Verkehrsstärke Güterverkehr	Klassifiziert
Anteil des Güterverkehrs	Klassifiziert
Bruttowertschöpfung ≥ 60 Mrd.*	Binär
TEN	Binär
BGL-Ausweichstrecken für Lkw-Verkehr	Binär
Main Supply Routes	Binär
* Bei diesen Indikatoren sind die Grenzwerte schon vorab gesetzt und die Werte klassifiziert worden. Daher wird nur noch die binäre Abfrage (Kriterium erfüllt: ja/nein) der entsprechenden Teilmenge durchgeführt.	

Verkehrsstärke

Um die Verkehrsstärke einzuordnen und auch die Verkehrsstärke auf Bundesstraßen angemessen mit zu betrachten, ist hier eine Trennung bei der Bewertung der Verkehrsstärke zwischen den Straßenklassen vorgenommen worden. Diese Einstufung orientiert sich an den Einstufungen für die Kritikalitätsbewertung des Verbundprojekts SKRIBTPlus.⁵⁸ Bei den Bundesstraßen ist ein durchschnittlicher Wert für übliche einbahnige Bundesstraßen herangezogen und das Kollektiv in überdurchschnittliche sowie unterdurchschnittliche Verkehrsstärke unterteilt worden.

⁵⁸ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2015): Verbundprojekt SKRIBTPlus – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Erweitertes Identifizierungsverfahren. S. 12.

DTV-Wert auf Bundesautobahnen	Einstufung der Kritikalität
< 90.000	0
90.000 – 120.000	1
> 120.000	2

Tab. 5-8: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke auf Bundesautobahnen

DTV-Wert auf Bundesstraßen	Einstufung der Kritikalität
< 15.000	0
> 15.000	1

Tab. 5-9: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke auf Bundesstraßen

Verkehrsstärke im Güterverkehr

Um die Verkehrsstärke einzuordnen und auch die Verkehrsstärke auf Bundesstraßen angemessen mit zu betrachten, ist hier eine Trennung bei der Bewertung der Verkehrsstärke zwischen den Straßenklassen vorgenommen worden. Diese Einstufung orientiert sich an den Einstufungen für die Kritikalitätsbewertung des Verbundprojekts SKRIBTPlus.⁵⁹ Bei den Bundesstraßen ist ein durchschnittlicher Wert für übliche einbahnige Bundesstraßen herangezogen und das Kollektiv in überdurchschnittliche sowie unterdurchschnittliche Verkehrsstärke unterteilt worden.

DTV-Wert des Güterverkehrs auf Bundesautobahnen	Einstufung der Kritikalität
< 12.000	0
12.000 – 16.000	1
> 16.000	2

Tab. 5-10: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke im Güterverkehr auf Bundesautobahnen

DTV-Wert des Güterverkehrs auf Bundesstraßen	Einstufung der Kritikalität
< 2.000	0
> 2.000	1

Tab. 5-11: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke im Güterverkehr auf Bundesstraßen

⁵⁹ Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2015): Verbundprojekt SKRIBTPlus – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Erweitertes Identifizierungsverfahren. S. 12.

Anteil Güterverkehr an der Gesamtbelastung

Je mehr Güterverkehr auf dem Streckenelement stattfindet desto kritischer ist es zu beurteilen. 60 Prozent Güterverkehrsanteil und darüber wird im vorliegenden Projekt als besonders kritisch eingeordnet.

Anteil Güterverkehr in Prozent	Längenanteil der Streckenelemente
< 30	95,2 %
30 – 60	3,6 %
> 60	1,2 %

Die vorliegenden Güterverkehrsanteile sind wie folgt klassifiziert worden:

Anteil Güterverkehr in Prozent	Einstufung der Kritikalität
< 30	0
30 – 60	1
> 60	2

Tab. 5-12: Einstufung der Kritikalität für den Indikator des Güterverkehrsanteils

Um die Indikatoren einordnen zu können, werden noch zwei Bewertungen vorgenommen. Zum einen wird eine Einschätzung zur verschiedenen Themenbereichen wie z. B. der Datenqualität vorgenommen (vgl. Kapitel 5.2.4).

Zum anderen wird eine Relevanzanalyse durchgeführt, um die Bedeutung der Indikatoren für bestimmte Themenfelder aufzuzeigen und eine Gewichtung daraus abzuleiten (vgl. Kapitel 5.2.3).

5.2.3 Relevanzanalyse und Gewichtung der Indikatoren für die Verkehrsträger

Für die Relevanzanalyse werden die benannten Indikatoren hinsichtlich ihrer Bedeutung für vier verschiedene Faktoren (Individuum, Versorgung, Gesamtwirtschaft, Sicherheit) eingeschätzt. Dabei werden die Kriterien der Bedeutung für das Individuum, für die Versorgung der Gesellschaft mit Waren und Dienstleistungen, die Gesamtwirtschaft sowie die Sicherheit betrachtet. Dabei wird jeweils ein Wert vergeben, wenn eine Bedeutung für dieses Kriterium vorliegt und kein Wert, wenn keine besondere Bedeutung durch den Indikator angenommen wird. Anschließend ist das Ergebnis betrachtet und die Plausibilität diskutiert worden. Im Ergebnis ist deutlich geworden, dass auf Grund des geringen Ergebnisses bei sicherheitsrelevanten Indikatoren wie z. B. der Main Supply Routes auch im Hinblick auf die aktuelle politische Lage eine höhere Gewichtung des Kriteriums „Sicherheit“ angenommen und der Wert entsprechend verdoppelt werden sollte.

Für die Bewertung der verkehrsträgerübergreifenden Kritikalität wird eine Synopse der einzelnen Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße erstellt. Es fließen daher hauptsächlich die Indikatoren der Schiene, Straße und Wasserstraße⁶⁰ in Form ihres Gesamtergebnisses mit in die Betrachtung ein. Lediglich die Alternativlosigkeit und die Clusterlage von intermodalen Verknüpfungspunkten werden zusätzlich als neue Indikatoren herangezogen. Für diese Indikatoren kann keine vergleichbare Relevanzanalyse gemacht werden,

⁶⁰ Für die Wasserstraße liegen nur die Ergebnisse der Bewertung vor.

da bereits die Relevanz der intermodalen Verknüpfungspunkte selbst in die Analyse eingeflossen sind. Diese Indikatoren werden demnach auch nicht mehr gewichtet.

Für den Übertrag in die Kritikalitätsbewertung sind die Ergebnisse der Relevanzanalyse in 4 Kategorien übertragen worden, denen jeweils ein Gewichtungsfaktor vergeben worden ist.

Ergebnis Relevanzanalyse	Gewichtungsfaktor
4-5	1
3	0,75
2	0,5
1	0,25

Tab. 5-13: Übertrag der Relevanzanalyse in einen Gewichtungsfaktor für die Kritikalitätsanalyse

Indikator	Relevanzanalyse Schiene					Gewichtung für die Kritikalitätsbewertung
	Individuum	Versorgung	Wirtschaft	Sicherheit	Summe	
Zugbelastung	1	1	1	2	5	1
große Brücken > 150 m	1	1	1	2	5	1
SGV-Korridor		1	1	2	4	1
740-Meter-Netz		1	1	2	4	1
Gleisanzahl		1	1	2	4	1
KV-Terminal/Hafen		1	1	2	4	1
Nutzung Güterverkehr		1	1	2	4	1
Geschwindigkeit*	1	1	1	2	5	0,75*
Logistikzentrum	1	1	1		3	0,75
Nutzung Personenverkehr	1			2	3	0,75
Elektrifizierung**	1	1	1	2	5	0,5**
Zugbelastung Güterverkehr		1	1		2	0,5
Anteil des Güterverkehrs		1	1		2	0,5
Bruttowertschöpfung >= 60 Mrd.		1	1		2	0,5
TEN		1	1		2	0,5

* Da die Geschwindigkeit kein Ausschlusskriterium ist und eine Hochgeschwindigkeitsstrecke durchaus durch langsamere Verbindungen ersetzt werden kann, fließt dieser Indikator nur mit einem Faktor von 0,75 in die Bewertung ein.

** Da Ersatzzüge auch immer nicht elektrifiziert fahren können, fließt dieser Indikator mit 0,5 nur in geringerem Maße in die Ermittlung der Gesamtkritikalität ein.

Tab. 5-14: Relevanzanalyse für die Schiene

Indikator	Relevanzanalyse Straße					Gewichtung für die Kritikalitätsbewertung
	Relevanz				Summe	
	Individuum	Versorgung	Wirtschaft	Sicherheit		
VFS O oder I	1	1	1	2	5	1
Militärisches Straßengrundnetz/ Hauptzivilstraßengrundnetz	1	1	1	2	5	1
Kritische Brücken	1	1	1	2	5	1
Zeitdifferenz bei Ausfall im Schnitt je Relation ≥ 15 Min	1	1	1	2	5	1
Gesamtzeitdifferenz bei Ausfall ≥ 6.000 Min	1	1	1	2	5	1
Verkehrsbeeinflussungsanlagen	1	1	1	2	5	1
KV-Terminal/Hafen		1	1	2	4	1
Rastanlage	1	1	1	0	3	0,75
Logistikzentrum	1	1	1		3	0,75
Verkehrsstärke gesamt	1	1	1		3	0,75
Verkehrsstärke Güterverkehr		1	1		2	0,5
Anteil des Güterverkehrs		1	1		2	0,5
Bruttowertschöpfung ≥ 60 Mrd.		1	1		2	0,5
TEN		1	1		2	0,5
BGL-Ausweichstrecken für Lkw-Verkehr		1	1		2	0,5
Main Supply Routes				2	2	0,5

Tab. 5-15: Relevanzanalyse für die Straße

5.2.4 Belastbarkeit der Indikatoren

Zur Ermittlung der Belastbarkeit der Indikatoren ist eine Qualitätsanalyse durchgeführt worden. Dafür sind die Qualitätsindikatoren Vollständigkeit, Verfügbarkeit, Aktualität, Korrektheit, Konsistenz und Genauigkeit⁶¹ herangezogen und die vorhandenen Daten, die den Kritikalitätsindikatoren zu Grunde liegen, einer Bewertung unterzogen worden. Dabei handelt es sich um Schätzwerte. Es werden die jeweiligen Indikatoren jeweils mit dem Wert „Eins“ belegt, wenn das Kriterium erfüllt wird oder „Null“, wenn es nicht erfüllt wird oder keine Beantwortung möglich ist. Zusätzlich sind die Kriterien der geschätzten Belastbarkeit, der erwarteten Aussagekraft und der Redundanz mit anderen Indikatoren bewertet worden. Dabei sind die Kriterien der „Belastbarkeit“ und „Aussagekraft“ mit folgenden Werten belegt worden: 1 = schlecht, 2 = mittel, 3 = gut.

Aufsummiert ergeben die Werte eine gute Aussage über die Gesamtbelastbarkeit der Datengrundlagen.

Für die Bewertung der verkehrsträgerübergreifenden Kritikalität wird, wie bereits in Kapitel 5.2.3 erläutert, eine Synopse der einzelnen Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße erstellt. Es fließen daher hauptsächlich die Indikatoren der Schiene, Straße und Wasserstraße⁶² in Form ihres Gesamtergebnisses in die Betrachtung ein. Die Belastbarkeit ergibt sich aus der Belastbarkeit der Indikatoren für die Verkehrsträger Straße und Schiene.

⁶¹ Bundesanstalt für Straßenwesen (2018): FE 01.0187/2015/CRB Entwicklung eines Qualitätssicherungskonzeptes für die Bereitstellung von Straßendaten für Echtzeit-Verkehrsinformationsdienste. S. 22.

⁶² Für die Wasserstraße liegen nur die Ergebnisse der Bewertung vor.

Für die Indikatoren der verkehrsübergreifenden Kritikalität der Alternativlosigkeit und Clusterlage sind von Seiten der Forschungsnehmerin räumliche Analysen der Grundlagendaten des Netzmodells für die Bundesfernstraßen des BMDV, des Schienennetzes der DB Netz AG, sowie der KV-Terminals durchgeführt worden. Sie sind somit als Ableitung der genannten Daten zu verstehen und basieren somit auf deren Belastbarkeit sowie einer gewissen Fehlertoleranz im Rahmen der Durchführung der Analysen.

Indikator Schiene	Bewertungskriterien									Summe
	Qualität der Daten**						Belast- barkeit*	Aussage- kraft*	keine Redun- danz	
Voll- ständ- igkeit	Verfü- gbarkeit	Aktu- alität	Kor- rekt- heit	Konsis- tenz	Genau- igkeit					
TEN-V	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
SGV-Korridore	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
Elektrifizierung	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
KV-Terminal/Hafen	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
Bruttowertschöp- fung >= 60 Mrd.	1	1	0	1	1	1	3	3	1	12
große Brücken > 150 m	1	1	1	1	1	1	3	2	1	12
Gleisanzahl	1	1	1	1	1	1	3	2	1	12
Geschwindigkeit	0	1	1	1	1	0	3	3	1	11
Logistikzentren	0	1	1	1	1	1	2	3	1	11
Nutzung Güterverkehr	1	1	1	1	1	1	2	2	1	11
Nutzung Personenverkehr	1	1	1	1	1	1	2	2	1	11
740-Meter-Netz	1	1	1	1	1	1	2	2	0	10
Zugbelastung	1	1	0	0	1	0	2	2	1	8
Anteil des Güterverkehrs	1	1	0	0	1	0	2	2	1	8
Zugbelastung Güterverkehr	1	1	0	0	1	0	2	2	1	8

* (1 = schlecht, 2 = mittel, 3 = gut); ** (1 = ja, 0 = nein/unbekannt)

Tab. 5-16: Belastbarkeitsbewertung der Indikatoren für die Schiene

Indikator Straße	Bewertungskriterien									
	Qualität der Daten**						Belastbarkeit*	Aussagekraft*	keine Redundanz	
Vollständigkeit	Verfügbarkeit	Aktualität	Korrektheit	Konsistenz	Genauigkeit					
Verbindungsfunktionsstufe O oder I	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
Main Supply Routes	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
TEN-V	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
Militärisches Straßengrundnetz/ Hauptzivilstraßengrundnetz	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
BGL-Ausweichstrecken für Lkw-Verkehr	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
KV-Terminal/Hafen	1	1	1	1	1	1	3	3	1	13
Bruttowertschöpfung >= 60 Mrd.	1	1	0	1	1	1	3	3	1	12
Logistikzentrum	0	1	1	1	1	1	2	3	1	11
Verkehrsbeeinflussungsanlagen	1	1	1	1	1	1	3	1	1	11
kritische Brücken	1	1	1	1	1	1	2	3	0	11
Gesamtzeitdifferenz bei Ausfall >= 6.000 Min	1	1	1	1	1	0	2	3	1	11
Zeitdifferenz bei Ausfall im Schnitt je Relation >= 15 Min	1	1	1	1	1	1	1	3	1	11
Rastanlagen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Verkehrsstärke gesamt	1	1	0	0	1	0	2	2	1	8
Anteil des Güterverkehrs	1	1	0	0	1	0	2	2	1	8
Verkehrsstärke Güterverkehr	1	1	0	0	1	0	2	2	1	8

* (1 = schlecht, 2 = mittel, 3 = gut); ** (1 = ja, 0 = nein/unbekannt)

Tab. 5-17: Belastbarkeitsbewertung der Indikatoren für die Straße

5.3 AP 2: Ergebnisse für die Schiene

Aus den vorangegangenen Überlegungen abgeleitet, sind die Indikatoren für die Schiene festgelegt und einer Prüfung unterzogen worden. Dabei sind die im Folgende aufgelisteten Indikatoren den Streckenelementen zugeordnet worden, um deren Kritikalität zu ermitteln. Die Streckenelemente entsprechen der Einteilung des Quelldatensatzes der DB Netz AG (vgl. Kapitel 4.8.1).

Als verkehrsmengenspezifische Indikatoren sind folgende betrachtet worden:

- 1.) Zugbelastung
- 2.) Zugbelastung Güterverkehr
- 3.) Anteil Güterverkehr
- 4.) Bruttowertschöpfungswert der Waren

Nicht von der Verkehrsmenge abhängig sind folgende Indikatoren:

- 5.) TEN-V
- 6.) SGV-Korridore
- 7.) intermodale Umschlags- und Zugangspunkte für den Güterverkehr (Häfen, KV-Terminals)
- 8.) Logistikzentren
- 9.) 740-Meter-Netz
- 10.) Elektrifizierung
- 11.) Nutzung Personenverkehr
- 12.) Nutzung Güterverkehr
- 13.) Geschwindigkeit
- 14.) Gleisanzahl
- 15.) große Brücken

Die Gesamtkritikalität der folgenden Tabelle bildet die Summe aller Indikatoren ab. Die Kritikalität des Personenverkehrs bildet diejenigen Strecken ab, auf denen nur Personenverkehr oder beide Verkehre stattfinden und berücksichtigt nur die Indikatoren, die für den Personenverkehr gelten:

- Zugbelastung
- Elektrifizierung
- Geschwindigkeit
- große Brücken
- Gleisanzahl
- Nutzung Personenverkehr

Gleiches gilt für den Güterverkehr, hier werden diejenigen Strecken abgebildet, auf denen beides oder nur Güterverkehr stattfindet. Hier werden alle Indikatoren außer Punkt 11 (Nutzung Personenverkehr) berücksichtigt.

Kritikalitätseinstufung	Länge Gesamtkritikalität (km)	Länge (km) Personenverkehr	Länge (km) Güterverkehr
0	0	0	0
> 0 bis <= 1	473	1.379	930
> 1 bis <= 2	10.289	17.192	9.428
> 2 bis <= 3	8.602	11.508	10.107
> 3 bis <= 4	5.873	16.859	6.493
> 4 bis <= 5	7.307	6.585	4.834
> 5 bis <= 6	6.950	324	6.744
> 6 bis <= 7	7.660	2	5.450
> 7 bis <= 8	4.729	0	4.408
> 8 bis <= 9	2.956	0	1.980
> 9 bis <= 10	1.342	0	1.279
> 10 bis <= 11	654	0	148
> 11 bis <= 12	97	0	2
Summe	56.933	53.849	51.803

Tab. 5-18: Verteilung der Kritikalitätseinstufung auf den Streckenelementen des Personen- und Güterverkehrs

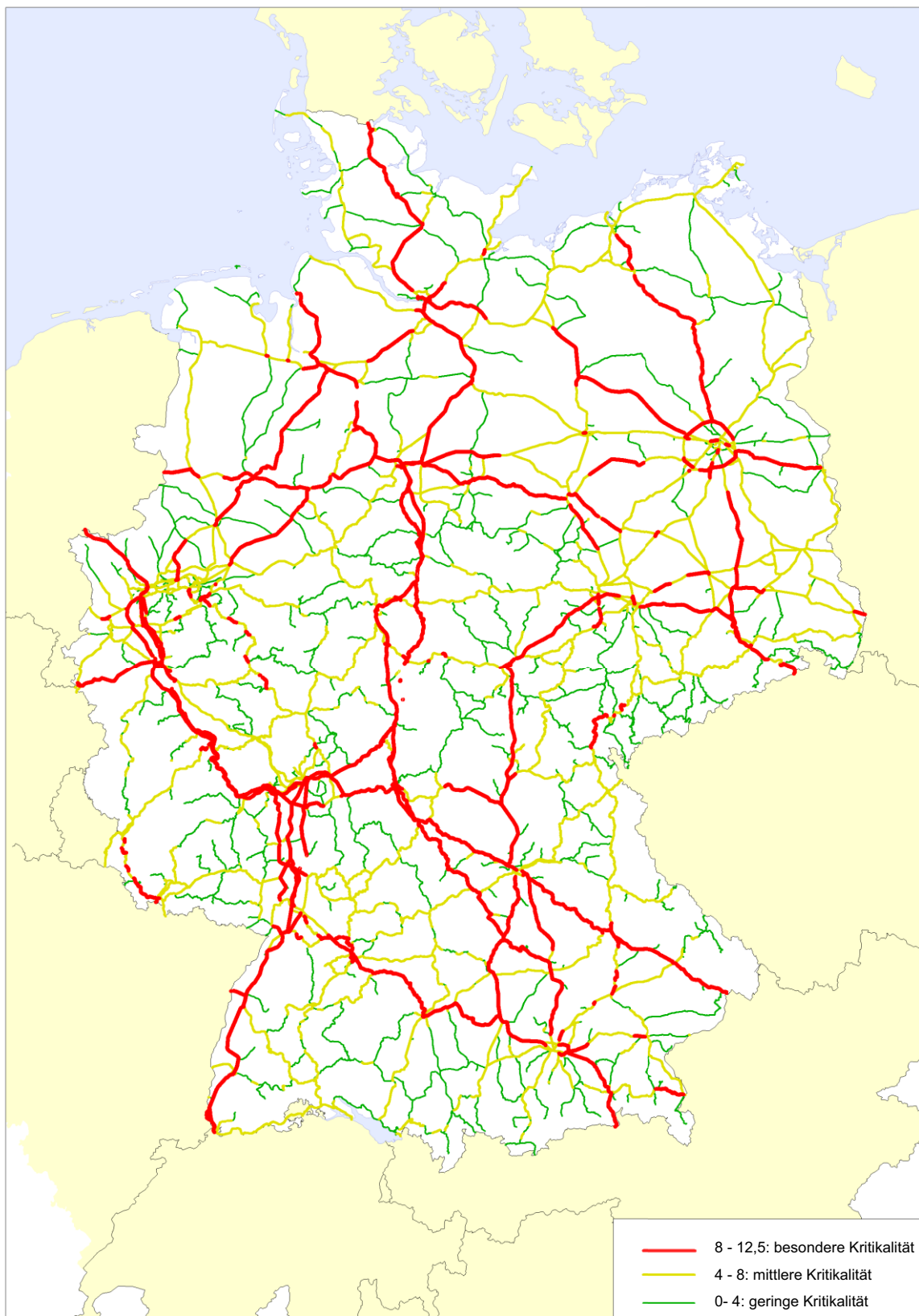


Bild 5-18: Ergebnis der Kritikalitätsbewertung der Schiene (eigene Darstellung)

5.4 AP 3: Ergebnisse für die Straße

Aus den vorangegangenen Überlegungen abgeleitet, sind die Indikatoren für die Straße festgelegt und einer Prüfung unterzogen worden. Dabei sind die im Folgende aufgelisteten Indikatoren den Streckenelementen zugeordnet worden, um deren Kritikalität zu ermitteln. Wie in Kapitel 4.8.1 erläutert, sind die Streckenelemente u. U. kürzer als die BISStra-Abschnitte. Das Ergebnis ist somit feiner. Sollen nur Aussagen über die BISStra-Abschnitte getroffen werden, kann diskutiert werden, ob eine über die Länge gewichtet Gesamtkritikalität aus den Ergebnissen der einzelnen Streckenelemente ermittelt werden soll, oder ob das schwächste Glied der Streckenelemente mit der höchsten Kritikalitätseinstufung die Aussage über die Gesamtkritikalität des BISStra-Abschnitts treffen soll. Im Rahmen des Projektes wurde erstere Variante geprüft und im Vergleich zur Betrachtung aller Streckenelemente nur kleine Abweichungen im Ergebnis beobachtet.

Als verkehrsmengenspezifische Indikatoren sind folgende betrachtet worden:

- 1.) Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV)
- 2.) Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke für den Güterverkehr (DTV)
- 3.) Anteil Güterverkehr
- 4.) Bruttowertschöpfungswert der Waren

Nicht von der Verkehrsmenge abhängig sind folgende Indikatoren:

- 5.) Verbindungsfunktionsstufen
- 6.) TEN-V
- 7.) Main Supply Routes
- 8.) Militärstraßengrundnetz (MSGN) & Hauptzivilgrundnetz (HZGN)
- 9.) intermodale Umschlags- und Zugangspunkte für den Güterverkehr (Häfen, KV-Terminals)
- 10.) Logistikzentren
- 11.) Rastanlagen
- 12.) Ausweichstrecken für Lkw-Verkehr
- 13.) Verkehrsbeeinflussungsanlagen
- 14.) Kritische Brücken

Zusätzlich gibt es weitere Indikatoren, die erst noch ermittelt werden mussten. So sind folgende Effekte, die durch den Ausfall eines Netzelementes entstehen, ermittelt worden:

- 15.) Zeitverlust durch Ausfall des Netzelementes

Um diese Effekte zu ermitteln, sind mithilfe eines Verkehrsmodells Umlegungen durchgeführt worden, die eine Differenzbetrachtung ermöglichen (vgl. Bild 5-6 und Erläuterung in Kapitel 5.1.9). Grundsätzlich besteht die Methode darin, eine Bezugsumlegung durchzuführen, in der alle Strecken geöffnet sind und die Bestwege ermittelt werden. Im Vergleich dazu werden dann alle Abschnitte der Bundesfernstraßen sukzessive gesperrt und die Differenzen hinsichtlich Zeit und Distanz ermittelt.

Eine Umlegung über das gesamtdeutsche Verkehrsmodell mit allen zugehörigen Verkehrszellen und eine sukzessive Sperrung aller Abschnitte der Bundesfernstraßen würde nach

den Erkenntnissen aus ersten Testläufen mindestens ein halbes Jahr laufen. Würde die tatsächlich zu Grunde gelegte Verkehrsnachfrage dazu genutzt, um zu betrachten, wie sich die Verkehrsströme ändern, würde sich die Zeit unverhältnismäßig verlängern. Daher ist eine Alternative entwickelt worden, mit der wenigstens die modellhafte Auswirkung einer Streckensperrung dargestellt werden kann.

Zum einen sind die Verkehrsbezirke auf die Zentralen Orte reduziert worden. Das ist auch plausibel, da die Verbindungen zwischen Grundzentren, Mittelzentren und Oberzentren sowie Metropolregionen in der Regel über die Bundesfernstraßen laufen. Theoretisch hätte sogar auf die Betrachtung der Grundzentren verzichtet werden können, da auch diese in der Regel keine zusätzlichen Bundesstraßen benötigen. Auf den Bundesfernstraßen liegt in der Regel wenigstens eine Mittelzentrenverbindung. Da dies aber nicht garantiert werden kann und es Ausnahmen gibt, bei denen Bundesstraßen lediglich eine Verbindungsfunktionsstufe III (Grundzentrenverbindung) zugeordnet werden können, ist die Variante des Einbezugs aller Grundzentren umgesetzt worden.

Zum anderen ist die Rechenzeit damit verkürzt worden, dass eine sogenannte „Einsermatrix“ umgelegt worden ist. Das bedeutet, dass von jedem Zentralen Ort lediglich eine hypothetische Person versucht mit dem Pkw die schnellste Route im unbelasteten Netz zu finden. Während in üblichen Umlegungen eine Verkehrserzeugung, -verteilung und -umlegung mithilfe von Vorbelastungen des Netzes und sukzessiver Routensuche in einem immer voller werdenden Netzmodell stattfinden, ist hier ein komplett leeres Netz angenommen worden, in dem der Pkw die für das Netzmodell angenommenen Geschwindigkeit voll ausfahren kann. Es ist somit der Bestweg ermittelt worden.

Durch die sukzessive Sperrung aller Abschnitte der Bundesfernstraßen ist nun also der Ausfall des Elements simuliert worden in der der imaginäre Pkw eine Alternativroute wählt, die nun den Bestweg darstellt. Anschließend ist eine Kenngrößenmatrix für jede Sperrung abgespeichert worden. Diese ist anschließend mit der Ursprungskenngrößenmatrix, in der noch alle Strecken befahrbar waren, verglichen und das Delta für die o. g. Aspekte ermittelt worden.

Für alle Netzabschnitte des Bundesfernstraßennetzes sind damit rund 12 Wochen Rechenzeit inklusive Abbrüchen durch kleinere Fehler angefallen.

Ursprünglich ist geplant gewesen, mit derselben Umlegungsmethodik direkt die Kennwerte zu ermitteln, mit denen die Erreichbarkeiten bzw. deren Defizite durch den Ausfall der Streckenelemente berechnet werden. Dies ist nicht möglich, da die dafür benötigte Menge an Verkehrszellen die Rechenzeit der Umlegung wie eingangs beschrieben so überdimensional verlängert, dass dies im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht zielführend wäre.

Bezüglich der Intermodalität bei der Alternativroutenwahl wird davon ausgegangen, dass weder für Güter- noch für Personenverkehr ein Moduswechsel bei Sperrung eines Straßenelements hin zur Schiene oder Wasserstraße zu erwarten ist.

Im Ergebnis ergibt sich eine Kritikalitätsbewertung mit einer Bandbreite von 0 bis 12. Dabei befinden sich die Strecken mit den höchsten Kritikalitätsbewertungen auf Bundesautobahnen. Die Bandbreite auf Bundesstraßen endet bereits bei 8.

Kritikalitätseinstufung	Länge (km)	Länge (km) BAB	Länge (km) BStr
0	5.671	21	5.650
> 0 bis <= 1	15.680	217	15.464
> 1 bis <= 2	11.946	680	11.266
> 2 bis <= 3	5.516	1.386	4.130
> 3 bis <= 4	3.259	2.192	1.067
> 4 bis <= 5	3.099	2.808	291
> 5 bis <= 6	2.137	2.092	45
> 6 bis <= 7	1.647	1.639	8
> 7 bis <= 8	1.156	1.156	0
> 8 bis <= 9	708	708	0
> 9 bis <= 10	270	270	0
> 10 bis <= 11	61	61	0
> 11 bis <= 12	6	6	0
Summe	51.156	13.236	37.921

Tab. 5-19: Verteilung der Kritikalitätseinstufung auf Bundesfernstraßen

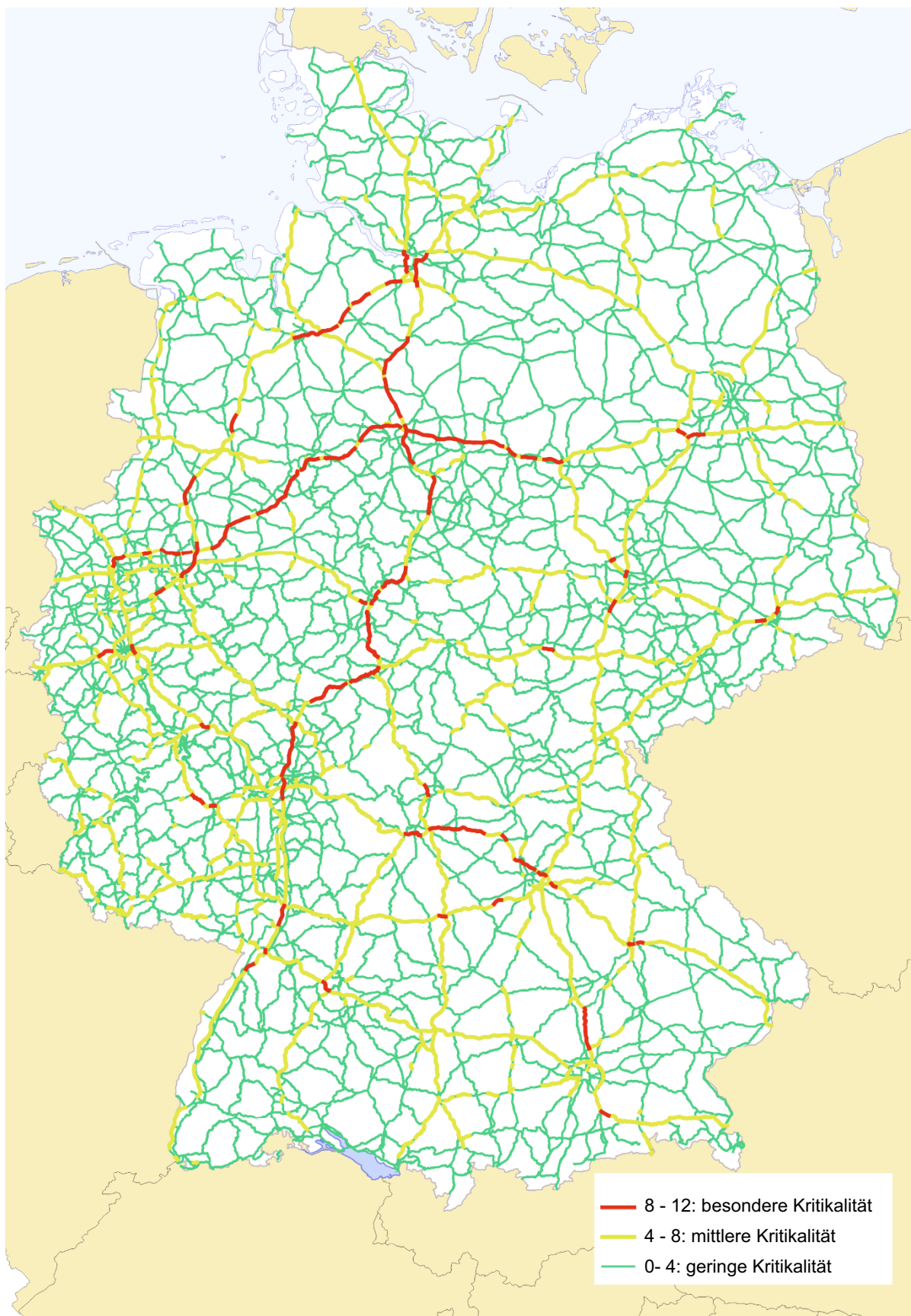


Bild 5-19: Ergebnis der Kritikalitätsbewertung der Bundesfernstraßen (eigene Darstellung)

5.5 AP 4: Ergebnisse verkehrsträgerübergreifend (Schiene, Straße, Wasserstraße)

Aus den vorangegangenen Überlegungen abgeleitet sind die Indikatoren einer Prüfung unterzogen worden. Für die Einordnung der verkehrsträgerübergreifenden Kritikalität sind die intermodalen Verknüpfungspunkte betrachtet worden. Bei diesen ist geprüft worden, welche Verkehrsträger abgewickelt werden. Die Kritikalität leitet sich von den Werten der Zulaufstrecken ab. Da es für die Wasserstraße schon eine Kritikalitätseinstufung gibt, ist diese dazu herangezogen worden. Dem folgend ist ebenfalls erst die Kritikalität für die Schiene und Straße ermittelt worden, um anschließend eine Zusammenführung der Kritikalität der Verkehrsträger für den intermodalen Verknüpfungspunkt durchzuführen.

Zusätzlich sind noch folgende Kritikalitätsindikatoren ermittelt worden:

- 1.) Alternativlosigkeit des Verknüpfungspunktes
- 2.) Clusterlage des Verknüpfungspunktes

Tabelle 5-20 zeigt die Anzahl der Verknüpfungspunkte innerhalb der Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der entsprechenden Verkehrsträger. Bild 5-21 und Bild 5-23 zeigen diese grafisch auf.

Kritikalitätsstufe	Zulaufstrecke Schiene	Zulaufstrecke Straße	Zulaufstrecke Wasserstraße
1	28	82	4
2	123	142	28
3	125	61	164
Summe	276	285	196

Tab. 5-20: Anzahl der Knotenpunkte mit der jeweiligen Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken

Für die Zusammenfassung der Ergebnisse und die Ermittlung einer Gesamtkritikalität für die intermodalen Verknüpfungspunkte sind die Ergebnisse der drei Verkehrsträger in ein gemeinsames Bewertungskonzept gebracht worden. Während die Wasserstraße sechs Kategorien (A-F), die auf der Transportmenge pro Jahr und der Nutzung beruht⁶³ aufweist, wird bei der Schiene ein Punktefeld von 0,5 bis 12,25 und bei der Straße ein Bandbreite von 0 bis 12 erreicht. Die Werte werden für die bessere Vergleichbarkeit gerundet. Folgende Zusammenfassung ist daher an dieser Stelle für die Synopse durchgeführt worden:

Schiene	Straße	Wasserstraße	Kritikalitätsstufe	Kritikalität
0 – 4	0 – 4	E – F	1	Geringe Kritikalität
4 – 8	4 – 8	C – D	2	Mittlere Kritikalität
8 – 12	8 – 12	A – B	3	Besondere Kritikalität

Tab. 5-21: Zusammenführung der verschiedenen Einstufungen

Bild 5-20 zeigt die Einstufungen der Wasserstraße.

⁶³ Auch für die Wasserstraße sind weitere Indikatoren denkbar, die sich z. B. auf ökologische Aspekte beziehen. Derartige Indikatoren wurden für die derzeitige verkehrsmengenbezogene Einstufung der Wasserstraße nicht berücksichtigt.

BUNDESWASSERSTRASSEN

- Netzkategorisierung unter Berücksichtigung der Verkehrsprognose 2030



Quelle: Fachstelle für Geodäsie und Geoinformation, zur Verfügung gestellt gemäß GeoNutzV
Bundeswasserstraßen, die eine Länge von unter 5 km aufweisen, sind maßstabsbedingt teilweise nicht dargestellt.

Stand: Juni 2021 W 162 n

Kategorisierung der Seeschifffahrts- und Binnenschifffahrtsstraßen

— A See ($\geq 50,0$ Mio t/a)	— A Binnen ($\geq 6,0$ Mio t/a)
— B See ($\geq 5,0$ Mio t/a)	— B Binnen ($\geq 4,0$ Mio t/a)
— C See ($\geq 1,0$ Mio t/a)	— C Binnen ($\geq 0,6$ Mio t/a)
— D See ($< 1,0$ Mio t/a)	— D Binnen ($< 0,6$ Mio t/a)
— E See (wie Binnen)	— E Binnen (Fahrgastschifffahrt und Freizeitschifffahrt)
— F See (wie Binnen)	— F Binnen (nicht motorisierte Freizeitschifffahrt)

- Seewasserstraßen des Bundes
- Delegationsstrecken (Elbe in HH, EJ-Kanal)
- Grenzstrecken
- * auf den deutschen Abschnitten des Rheins im Grenzbereich überwiegt Freizeitverkehrsnutzung

Bild 5-20: Netzkategorisierung für die Wasserstraße (Quelle: BMDV, 2021)

Im Anschluss daran wird die Einstufung hinsichtlich der Clusterlage und der Alternativlosigkeit zusätzlich berücksichtigt. Für jeden intermodalen Verknüpfungspunkt ergibt sich ein Ergebnis aus der Summe der Einstufung der drei Verkehrsträger, sowie der binären Abfrage der Clusterlage und der Alternativlosigkeit, die hinzuaddiert wird. Für bimodale Verknüpfungspunkte wird für den fehlenden Verkehrsträger nichts hinzuaddiert, was dazu führt, dass diese Verknüpfungspunkte unter Umständen als weniger kritisch sind, als die trimodalen. In der Interpretation ist das durchaus plausibel, da alleine der Funktionsumfang eines trimodalen Verknüpfungspunktes eine höhere Kritikalität begründen kann.

Das Ergebnis ergibt wieder eine neue Bewertungsbandbreite, die nun wieder in die dreistufige Kritikalitätsbewertung übersetzt wird.

Das finale Ergebnis lässt sich auf Bild 5-24 und Bild 5-25 erkennen und gestaltet sich wie folgt:

Kritikalitätsbewertung	Anzahl Verknüpfungspunkte
1: geringe Kritikalität	16
2: mittlere Kritikalität	147
3: besondere Kritikalität	122
Summe	285

Tab. 5-22: Anzahl und Kritikalität der intermodalen Verknüpfungspunkte

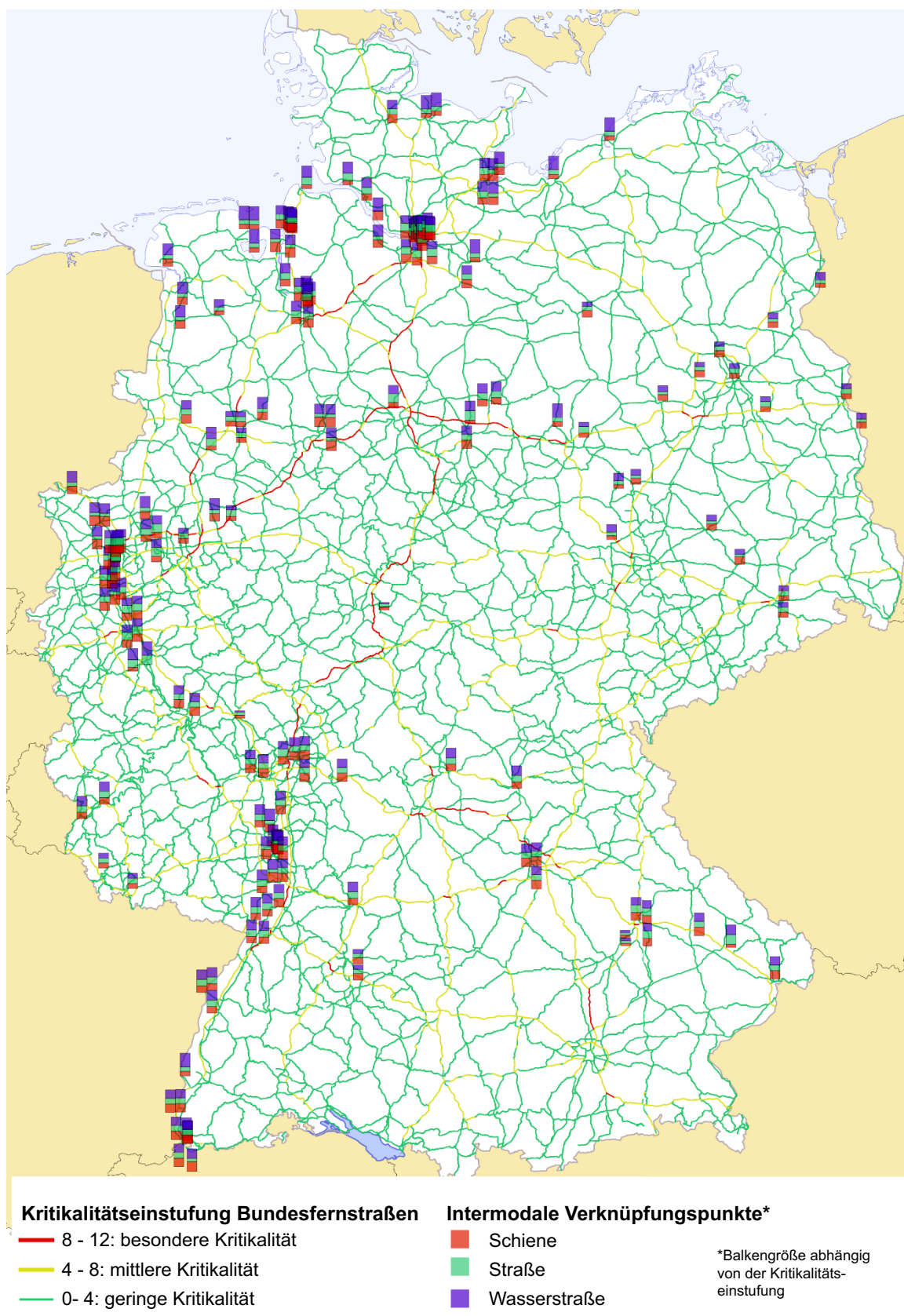


Bild 5-21: Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der intermodalen Verknüpfungspunkte, Darstellung zusammen mit dem Ergebnis für die Bundesfernstraßen (eigene Darstellung)

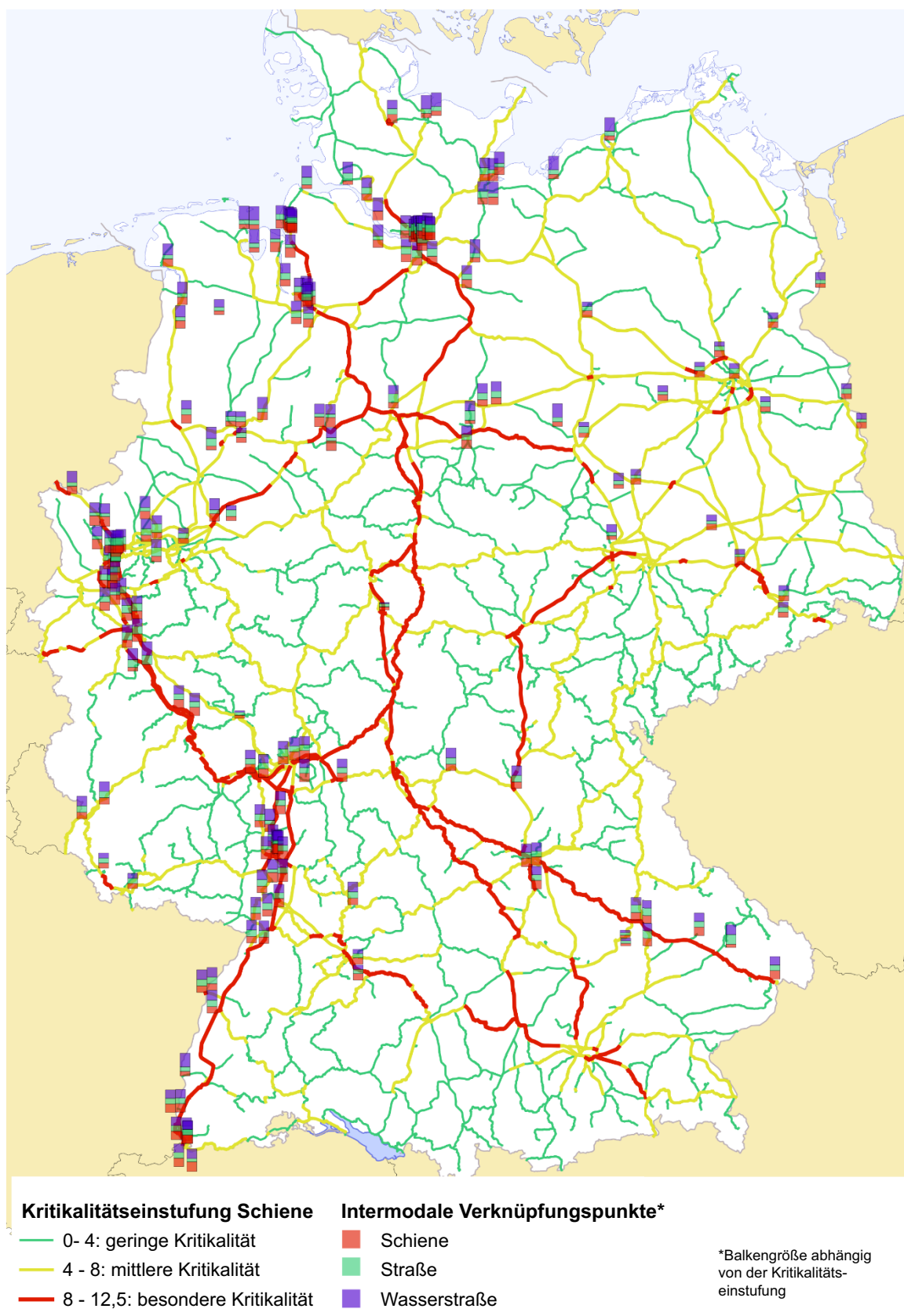
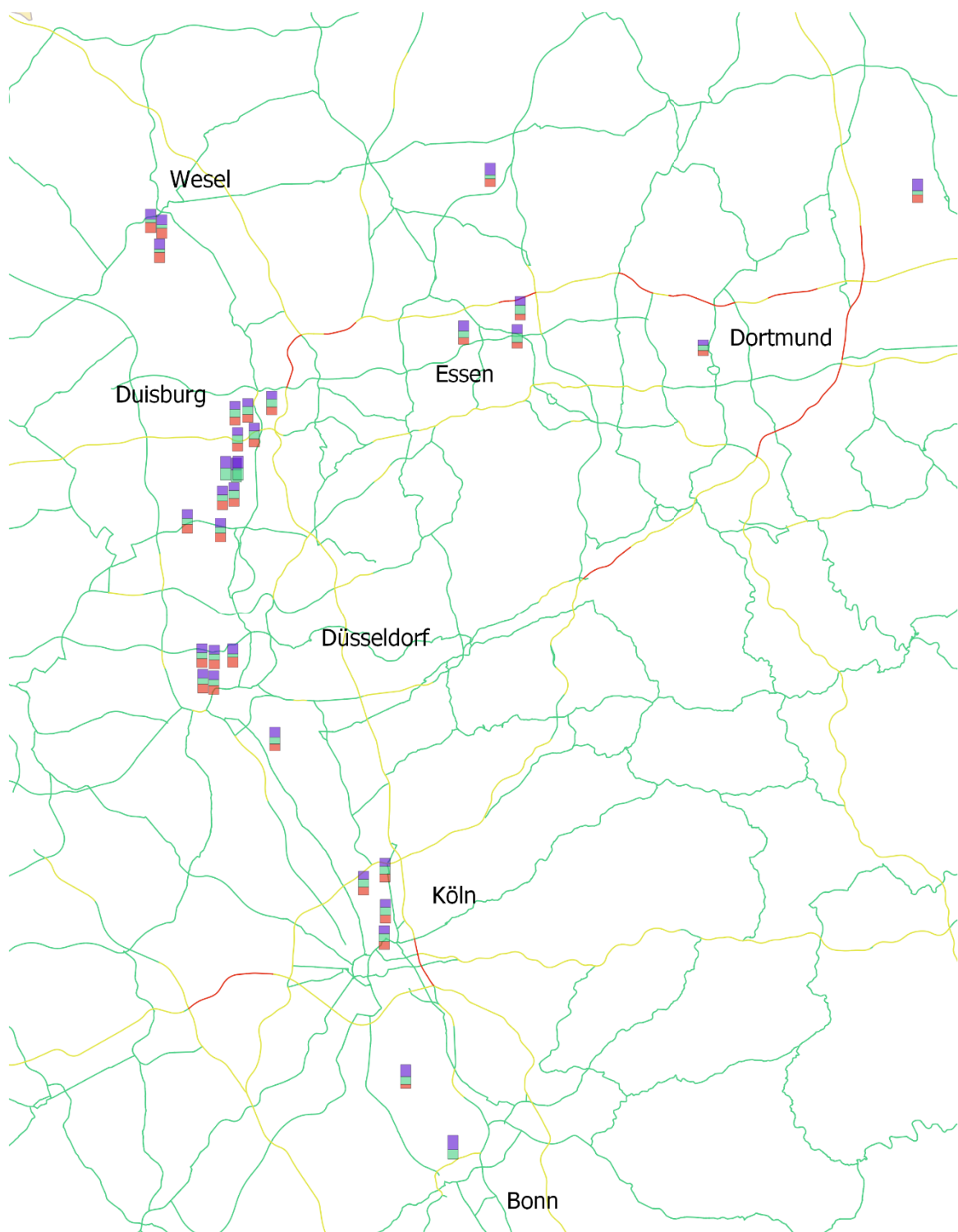


Bild 5-22: Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der intermodalen Verknüpfungspunkte, Darstellung zusammen mit den Ergebnissen für die Schiene (eigene Darstellung)



Kritikalitätseinstufung Bundesfernstraßen

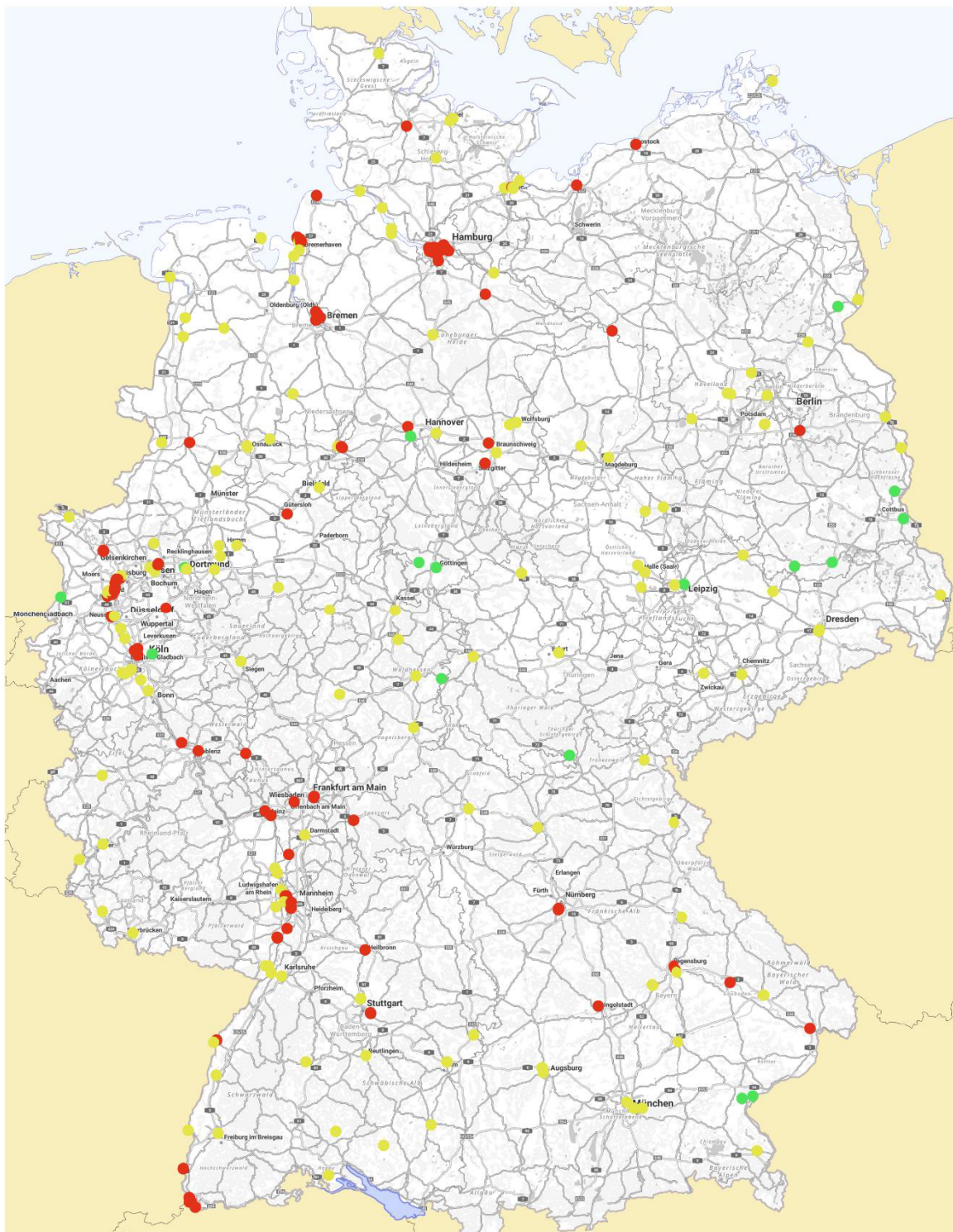
- 8 - 12: besondere Kritikalität
- 4 - 8: mittlere Kritikalität
- 0 - 4: geringe Kritikalität

Intermodale Verknüpfungspunkte*

- Schiene
- Straße
- Wasserstraße

*Balkengröße abhängig von der Kritikalitätseinstufung

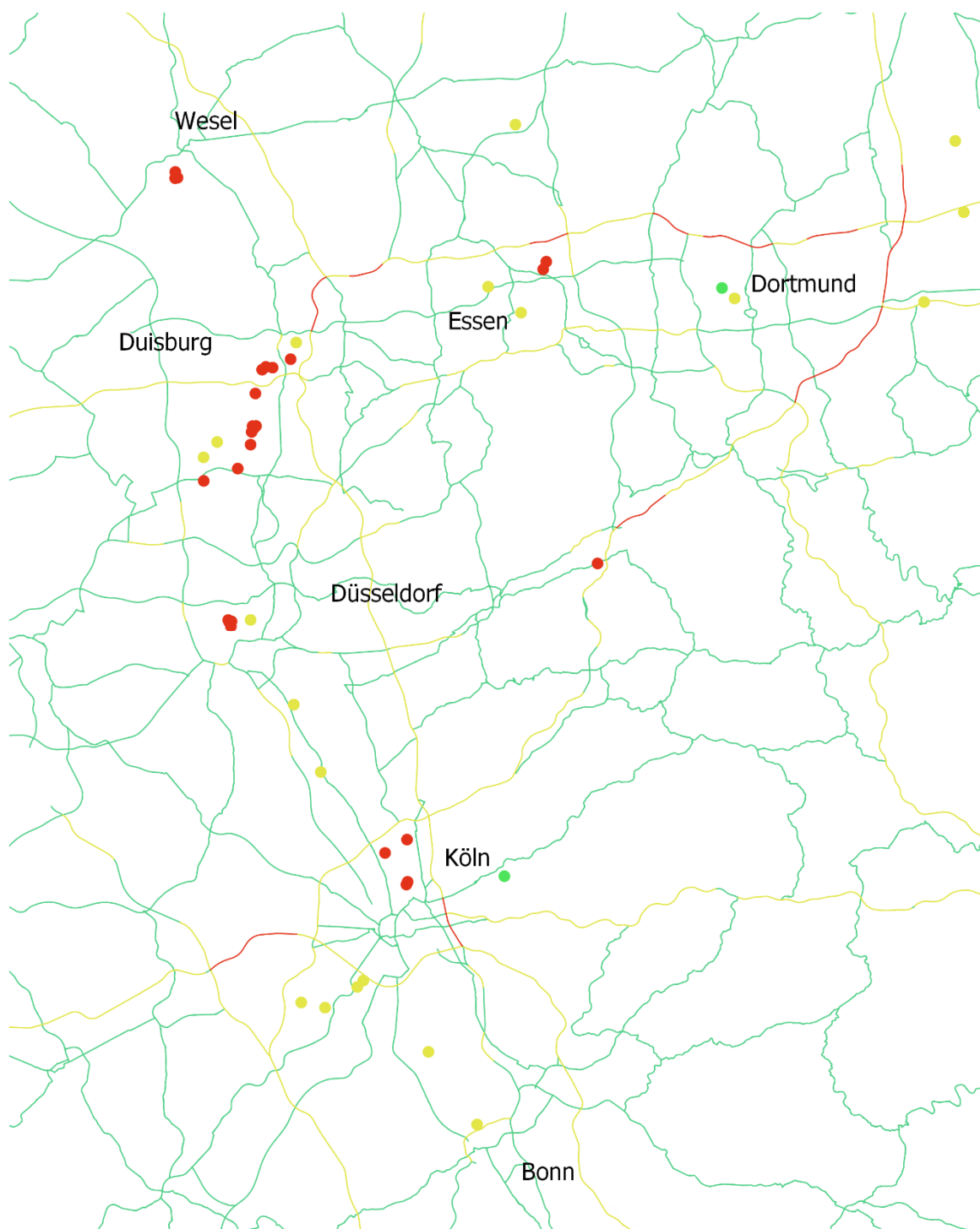
Bild 5-23: Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der intermodalen Verknüpfungspunkte (Ausschnitt Rhein-Ruhr) (eigene Darstellung)



Kritikalitätseinstufung der intermodalen Verknüpfungspunkte

- geringe Kritikalität
- mittlere Kritikalität
- besondere Kritikalität

Bild 5-24: Kritikalitätseinstufung der intermodalen Verknüpfungspunkte (eigene Darstellung)



Kritikalitätseinstufung Bundesfernstraßen

- 8 - 12: besondere Kritikalität
- 4 - 8: mittlere Kritikalität
- 0 - 4: geringe Kritikalität

Kritikalitätseinstufung der intermodalen Verknüpfungspunkte

- geringe Kritikalität
- mittlere Kritikalität
- besondere Kritikalität

Bild 5-25: Kritikalitätseinstufung der intermodalen Verknüpfungspunkte (Ausschnitt Rhein-Ruhr)
(eigene Darstellung)

5.6 Weiterentwicklung der Ergebnisse und Erstellung und Pflege eines Kritikalitätsmodells

Das entwickelte Modell kann jederzeit mit aktuellen Daten gefüllt werden und die Bewertung der Kritikalität neu ermittelt werden. Das Netzmodell für die Bundesfernstraßen (NEMOBFStr) bietet über die Schnittstelle mit dem Bundesinformationssystem Straße (BISStra) die Möglichkeit regelmäßig neue Daten hinzuzufügen. Auch das NEMOBFStr selbst wird in vielen Themenbereichen jährlich auf den neuesten Stand gebracht und kann somit regelmäßig zu einer Aktualisierung der Kritikalitätsbewertung beitragen. Das Schienennetz der DB Netz AG kann bei Veröffentlichung neuer Daten ebenfalls neu befüllt und interpretiert werden. Eine jährliche Prüfung auf Veränderungen im Bereich der Schieneninfrastruktur ist dafür notwendig.

Das Modell bietet zusätzlich die Möglichkeit, Klassifizierungen zu ändern und Gewichtungen zu variieren. Wie in Kapitel 5.2.3 erwähnt, wurde im aktuellen Kontext das Kriterium der Sicherheit in der Relevanzanalyse höher gewichtet. Dies kann bei veränderten Rahmenbedingungen ebenfalls angepasst werden.

6 Fazit und Ausblick

6.1 Fazit

Für das vorliegende Forschungsprojekt sind eine Reihe zusätzlicher Indikatoren zur Bewertung der Kritikalität herangezogen worden, die über die reine Betrachtung der Verkehrsstärken hinausgehen.

Grundsätzlich liegt eine gute Datenbasis vor. Ein Großteil der gewählten Indikatoren ist relativ schnell aufzubereiten und belastbar. Einige Indikatoren sind berechnet worden. Nach Abwägung des Zeitaufwands für die modellhafte Berechnung der Zeit- und Fahrtlängenveränderung durch Streckenausfälle ist diese als lohnenswerte Zusatzinformation eingeschätzt worden. Die Berechnungen haben treffende Aussagen über die modellhaften Auswirkungen von Streckensperrungen im Netzmodell geliefert. Diese Aussagen sind bei korrekter Interpretation belastbar.

Derzeit liegen für den Verkehrsträger „Straße“ mehr Indikatoren vor, die modellgestützte Berechnung der Indikatoren ist hier möglich und auch die Ergebnisbandbreite ist eine Andere, als bei der „Schiene“. Es ist diskutiert worden, ob es zulässig sein kann, dass es hier Ungleichheiten bei der Indikatorenwahl zwischen den Verkehrsträgern gibt. Grundsätzlich muss auf Grund der heterogenen Datenlage damit gerechnet werden, dass hier Unterschiede vorliegen. Es sollte ausreichen, dass die Kritikalität innerhalb des Verkehrsträgers vergleichbar ist. Schließlich wurde die Kritikalität für den Verkehrsträger „Wasserstraße“ ebenso schon mithilfe bestimmter Indikatoren ermittelt, die unter Umständen nicht den hier angewendeten entsprechen.

Dennoch wird deutlich, dass es anzustreben ist, innerhalb eines Verkehrsträgers so viele Indikatoren wie möglich zu berücksichtigen und die Gesamtheit der Streckenelemente so global wie möglich zu betrachten.

Für die Ermittlung der Punktzahl zur Beschreibung der Kritikalität ist die anhand der Relevanzanalyse gewichtete Addition aller Kennwerte gewählt worden.

Das Ergebnis wirkt plausibel. Die Einstufung hoher Kritikalität orientiert sich an bekannten Routen. Im Straßenbereich liegt die größte Kritikalität auf den Bundesautobahnen. Das begründet sich auch in der Indikatorenwahl, da z. B. der Großteil strategischer Netze über Autobahnen geführt wird (TEN-V, Main Supply Routes etc.).

Auch die Ergebnisse besonders kritischer Streckenelemente bei der Schiene orientieren sich an den bekannten relevanten Routen wie z. B. die Rheinschiene. Es bündeln sich die besonders kritischen Strecken auf den Netzen des TEN-V und der Schienengüterverkehrskorridore.

Es sind jedoch durch die zusätzliche Betrachtung z. B. der Umwegigkeit und Zeitdifferenz durch Streckensperrungen bei der Straße und z. B. der Geschwindigkeit bei der Schiene andere Aspekte mit eingeflossen. Dies kann für die weitere Bearbeitung mit dem erstellten Modell im Fokus behalten werden. Hier kann durch Veränderung der Gewichtung oder die Neuzusammenstellung der bekannten Indikatoren auch eine alternative Kritikalitätsbewertung erstellt werden, die sich weniger auf die Bundesautobahnen bezieht. Dies kann z. B. interessant sein, wenn nur die Bundesstraßen miteinander verglichen werden sollen.

Grundsätzlich ändert das natürlich nicht das Fazit, das im Gesamtkontext der Betrachtung der Bundesfernstraßen gezogen werden muss. Dieses besagt nämlich, dass die derzeitige Einstufung der Kritikalität, bei der eingangs beschriebenen Interpretation des Begriffs der

„Kritikalität“, logischerweise die großen und viel befahrenen Verkehrsachsen mit besonders hoher Kritikalität belegen muss, da deren Ausfall einen besonders hohen Effekt auf verschiedene Bereiche der Gesellschaft hat.

6.2 Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes sind eine Reihe Indikatoren in die Überlegungen einbezogen worden, die sich im weiteren Verlauf der Arbeiten als zu aufwändig und daher innerhalb des Projektumfangs nicht ermittelbar erwiesen haben. Diese Indikatoren sollen an dieser Stelle jedoch trotzdem benannt werden, falls sich in weiteren Untersuchungen Zeit und Raum dafür finden sollte.

- a. Erreichbarkeit der Zentralen Orte und Veränderung durch Streckensperrungen
- b. Genaue Berechnung von Emissionen durch Ausfall des Netzelementes
- c. Umfahrung auf Strecken mit hohem Auslastungsgrad
- d. Umfahrung auf Strecken mit hohem Unfallaufkommen
- e. Transportierte Gutarten von Bedeutung
- f. Parkstände
- g. Tankstellen
- h. Umfahungsstrecken der Schiene

Für die Indikatoren a bis d müsste dann ein neues Modell aufgesetzt werden, das diese Aspekte berücksichtigt. Dafür wird mehr Zeit für die Entwicklung des Modells sowie für die anschließende Umlegungsrechnung benötigt. Eine Überprüfung dieser Indikatoren war daher im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich. Für die restlichen Punkte lagen die Daten zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht oder nicht vollständig vor und deren Erhebung hätte ebenfalls den Zeitrahmen des Projektes überschritten.

Besonders interessant ist die modellhafte Ermittlung von Alternativlosigkeiten, da diese nicht mit einem Bedeutungsüberschuss, durch hohe Nutzung oder sicherheitsrelevante Themen zusammenhängen müssen. Dieser Aspekt bedarf jedoch in seiner detaillierten Betrachtung eines großen Zeitkontingentes und sollte bei Bedarf in einem eigenen Projekt betrachtet werden.

Literatur

adelphi/PRC/EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2015): Verlässliche Infrastrukturen für ein funktionierendes Verkehrssystem. Synthesebericht zum Impulsprogramm BMVI-Expertennetzwerk 2014/2015.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2017): Masterplan Schienengüterverkehr. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). Berlin.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2020): Das BMVI Expertennetzwerk „Wissen – Können – Handeln“: Synthesebericht zur Forschungsphase 2016-2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). Berlin. DOI: 10.5675/ExpNBmvi2020.2020.17

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2021): Wir wollen mehr Güter von der Straße auf die umweltfreundliche Schiene bringen. Abrufbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/klimaschutz-kombinierter-verkehr.html> (zuletzt abgerufen am 21.07.2021)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2021): Transeuropäische Verkehrsnetze (TEN-V). Abrufbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/transeuropaeische-verkehrsnetze.html> (zuletzt abgerufen am 21.07.2021)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2021): Verkehr in Zahlen 2021/2022.

Bühler, G., Stumm, G. (2005): Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr, Eine Analyse ordnungs- und preispolitischer Maßnahmen.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2009): Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS (2010): Schlussbericht Kritikalität Teilsektoren. Programm Schutz Kritischer Infrastrukturen.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2011): Projektbeschreibung KritiskAT.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2020): 10 Jahre „KRITIS-Strategie“.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2021): Kritische Infrastrukturen, in: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – Kritische Infrastrukturen.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT (2012): „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bedrohungsanalyse.“

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT (2012): „Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bauwerksbezogene Objektanalyse: Brücken.“

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2015): Verbundprojekt SKRIBTPlus – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Erweitertes Identifizierungsverfahren.

Bundesministerium des Innern: Schutz Kritischer Infrastrukturen – Basisschutzkonzept, Empfehlungen für Unternehmen. Bundesministerium des Innern, Berlin, 2005

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Verfahren zur Identifizierung kritischer Bauwerke.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), (2012): Verbundprojekt SKRIBT – Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen: Bedrohungsanalyse.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/Verbindungsfunktionsstufen-0-1.html> (zuletzt abgerufen: 31.01.2022).

Bundesministerium des Innern (2005): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Basisschutzkonzept. Empfehlungen für Unternehmen.

Bundesministerium des Innern (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie).

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBS) (1999): „Notfallplanung Straßenbau. Grundlagen des Straßenbaues in Notsituationen (Zivile Verteidigung-ZV) Planungen, Vorbereitungen, Durchführung“.

Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030. Abrufbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1> (zuletzt abgerufen am 26.07.2021)

Deutsche Bahn: https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/international/europ_korridore/europ_korridore_allg-1393158 (zuletzt aufgerufen: 31.01.2022)

Deutscher Bundestag (2017): Kurzinformation. Verlegfähigkeit von NATO-Streitkräften über deutsches Territorium. (Fachbereich WD 2: Auswärtiges, wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Verteidigung, Menschenrechte und humanitäre Hilfe).

Dorsch, L., Kahlenborn, W., Lohrengel, A., Nilson, E., Porst, L., Rudolph, E., Voß, M. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Teil 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change 23/2021, Dessau-Roßlau.

Drent, M. E./Kruijver, K./Zandee, D. H./Nederlands Instituut voor Internationale Betrekkingen "Clingendael"/Netherlands Institute of International Relations 'Clingendael' (2019): Military Mobility and the EU-NATO Conundrum (Clingendael report).

European Union Institute for Security Studies (2017): Towards a 'military Schengen'? Towards a 'military Schengen'?

Fekete, A. (2012): Ziele im Umgang mit „kritischen“ Infrastrukturen im staatlichen Bevölkerungsschutz. In: Stober, R. et al. (Hrsg.) Managementhandbuch Sicherheitswirtschaft und Unternehmenssicherheit, Boorberg Verlag, Stuttgart: S. 1103-1124.

FGSV (2008): Richtlinie für integrierte Netzgestaltung (2008), Köln.

Forschungsinformationssystem – Mobilität und Verkehr (2020): <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/337396/> (zuletzt abgerufen: 31.01.2022)

- Haggett, P. (1972). Einführung in die Kultur- und sozialgeographische Regionalanalyse.
- Karutz, H., Geier, W., Mitschke, T., (2017): Bevölkerungsschutz. Notfallvorsorge und Krisenmanagement in Theorie und Praxis.
- Schmitt, H. C. (2019): Systemisches Kaskadenpotenzial von KRITIS-Teilsektoren. In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 4/2019.
- Schnieder, L. (2018): Schutz kritischer Infrastrukturen im Verkehr. Security Engineering als ganzheitlicher Ansatz. Springer, Wiesbaden.
- Sieg, T. & Kreibich, H. (2019, 24. Mai). Wirtschaftliche Folgen von Überschwemmungen. Earth System Knowledge Platform [www.eskp.de], 6. doi:10.2312/eskp.018
- Verordnung (EU) Nr. 1315/2013 über Leitlinien für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes

Bilder

Bild 5-1: Verbindungsfunktionsstufen (eigene Darstellung)	34
Bild 5-2: TEN-V-Netz Straße (eigene Darstellung)	37
Bild 5-3: TEN-V-Netz Schiene (eigene Darstellung)	38
Bild 5-4: Streckenabschnitte mit Rastanlagen (eigene Darstellung)	40
Bild 5-5: Streckenabschnitte mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen (eigene Darstellung) ..	42
Bild 5-6: Beispiel für die Auswirkungen einer Streckensperrung (eigene Darstellung)	44
Bild 5-7: Schienengüterverkehrskorridore	45
Bild 5-8: Gateways für Güterverkehr und Logistikzentren (eigene Darstellung)	46
Bild 5-9: 740-Meter-Netz (eigene Darstellung)	48
Bild 5-10: Elektrifizierung des Schienennetzes (eigene Darstellung)	51
Bild 5-11: Nutzung des Schienennetzes (eigene Darstellung)	53
Bild 5-12: Mögliche Geschwindigkeiten im Schienennetz (eigene Darstellung)	55
Bild 5-13: Gleisanzahl (eigene Darstellung)	57
Bild 5-14: Ermittlung der Alternativen für intermodale Verknüpfungspunkte (eigene Darstellung auf Grundlage der Darstellung der DB Netz AG)	59
Bild 5-15: Ermittlung der Alternativlosigkeit der Erschließungsstrecken (eigene Darstellung)	59
Bild 5-16: Beispiel für die Einordnung der Alternativlosigkeit bei der Erreichbarkeit eines intermodalen Verknüpfungspunktes im Bereich Schiene (eigene Darstellung)	60
Bild 5-17: Beispiel für die Clusterlage intermodaler Verknüpfungspunkte in Nordrhein-Westfalen (eigene Darstellung)	61
Bild 5-18: Ergebnis der Kritikalitätsbewertung der Schiene (eigene Darstellung)	74
Bild 5-19: Ergebnis der Kritikalitätsbewertung der Bundesfernstraßen (eigene Darstellung)	78
Bild 5-20: Netzkategorisierung für die Wasserstraße (Quelle: BMDV, 2021)	80
Bild 5-21: Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der intermodalen Verknüpfungs- punkte, Darstellung zusammen mit dem Ergebnis für die Bundesfernstraßen (eigene Darstellung)	82
Bild 5-22: Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der intermodalen Verknüp- fungspunkte, Darstellung zusammen mit den Ergebnissen für die Schiene (eigene Darstellung)	83
Bild 5-23: Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken der intermodalen Verknüpfungs- punkte (Ausschnitt Rhein-Ruhr) (eigene Darstellung)	84

Bild 5-24: Kritikalitätseinstufung der intermodalen Verknüpfungspunkte (eigene Darstellung)	85
Bild 5-25: Kritikalitätseinstufung der intermodalen Verknüpfungspunkte (Ausschnitt Rhein-Ruhr) (eigene Darstellung)	86

Tabellen

Tab. 5-1: Beispiel für die klassifizierte Einstufung der Kritikalität eines Indikators	61
Tab. 5-2: Beispiel für eine binäre Einstufung der Kritikalität eines Indikators	61
Tab. 5-3: Bewertungsart der Indikatoren	62
Tab. 5-4: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Zugbelastung	63
Tab. 5-5: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Geschwindigkeit auf den Schienenstrecken.....	63
Tab. 5-6: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Zugbelastung im Güterverkehr	64
Tab. 5-7: Einstufung der Kritikalität für den Indikator des Güterverkehrsanteils	64
Tab. 5-8: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke auf Bundesautobahnen	66
Tab. 5-9: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke auf Bundesstraßen.....	66
Tab. 5-10: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke im Güterverkehr auf Bundesautobahnen.....	66
Tab. 5-11: Einstufung der Kritikalität für den Indikator der Verkehrsstärke im Güterverkehr auf Bundesstraßen	66
Tab. 5-12: Einstufung der Kritikalität für den Indikator des Güterverkehrsanteils	67
Tab. 5-13: Übertrag der Relevanzanalyse in einen Gewichtungsfaktor für die Kritikalitätsanalyse.....	68
Tab. 5-14: Relevanzanalyse für die Schiene.....	68
Tab. 5-15: Relevanzanalyse für die Straße.....	69
Tab. 5-16: Belastbarkeitsbewertung der Indikatoren für die Schiene	70
Tab. 5-17: Belastbarkeitsbewertung der Indikatoren für die Straße	71
Tab. 5-18: Verteilung der Kritikalitätseinstufung auf den Streckenelementen des Personen- und Güterverkehrs	73
Tab. 5-19: Verteilung der Kritikalitätseinstufung auf Bundesfernstraßen	77
Tab. 5-20: Anzahl der Knotenpunkte mit der jeweiligen Kritikalitätseinstufung der Zulaufstrecken	79
Tab. 5-21: Zusammenführung der verschiedenen Einstufungen.....	79
Tab. 5-22: Anzahl und Kritikalität der intermodalen Verknüpfungspunkte	81

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen Unterreihe „Straßenwesen“

2023

S 194: Aspekte der Dimensionierung und Konstruktion zur

Sicherstellung der Verfügbarkeit bei temporärer Nutzung von Randbereichen von Bundesfernstraßen
Wellner, Sommer, Clauß, Spanier, Villaret, Tschernack, Villaret, Gebhardt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 195: Verfahren zur Bildung und Beschreibung zustandshomogener Abschnitte und repräsentativer Kennzahlen für das Erhaltungsmanagement

Berthold, Großmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 196: Eignung konventioneller Prüfverfahren für Recycling-Baustoffe und industrielle Nebenprodukte im Erdbau

Huber, Birle, Heyer, Demond

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 197: Lösungsstudie zur Umsetzung der ASR A5.2 im Kontext mit der Herstellung von Betonfahrbahndecken

Tschernack, Gebhardt, Villaret

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 198: Erprobung von Betonfertigteilen für den Neubau und die grundhafte Erneuerung auf dem duraBAST

Alte-Teigeler, Britz, Kispert, Riwe, Tschernack, Villaret, Lüdike

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 199: Identifizierung relevanter Klimaparameter und Bestimmung von Schwellenwerten zu gravitativen Massenbewegungen

Steffen, Brendel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 200: Einfluss der Betonzusammensetzung von Straßenbetonen auf die Spaltzugfestigkeit unter Berücksichtigung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit

Schnellenbach-Held, Eßer, Johansen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 201: Textilbewehrter Oberbeton als Basis für eine fugenlose Oberfläche von Betonfahrbahnen

Breitenbücher, Neumann, Curbach, Baumgärtel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

2024

S 202: Schaffung von Grundlagen für eine einheitliche Erfassung der Maschinenrohdaten im Seitenkraftmessverfahren – Weiterentwicklung der SKM-Griffigkeitsmessung durch Berücksichtigung der gemessenen Vertikalkraft

Jürgen Schmidt, Julius Schmidt, Johannes Schmidt, Müller

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 203: Prognose der Wirtschaftlichkeit von Betonfahrbahndecken – Bauweisen RStO/RDO

Beckenbauer, Gebhardt, Riwe, Tschernack, Villaret

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 204: Überprüfung der Auswirkungen der Anwendung der Filterregeln für Geokunststoffe des M Geok E

Moormann, Liebl, Schlee

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 205: Alternative Verfahren zur Beurteilung Offenporiger Asphaltdeckschichten hinsichtlich Hohlraumgehalt und Verdichtungszustand

Roos, Plachkova-Dzhurova, Schwarzmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 206: Weiterentwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Neumann, Oeser, Reinhardt, Blasl, Canon Falla, Wellner, Kayser

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

2025

S 207: Optimierung der Kompositbauweise (Durchgehend bewehrte Betondecke mit dünner flexibler Deckschicht)

Freudenstein, Dirnhofer, Eger

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 208: Verifizierung der Mischgutkonzeptionierung kaltgebundener bitumen-dominanter Tragschichten und Ableitung von Dimensionierungsgrundsätzen

Radenberg, Staschkiewicz, Vienenkötter, Mollenhauer, Winter

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 209: Grundlagen für die Eignungsprüfung von Böden mit organischen Bestandteilen zur Verwendung als Baustoffe im Erdbau

Uday, Huber, Birle, Cudmani

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 210: Prüfung und Bewertung der Dauerhaftigkeit „zeitweise fließfähiger und selbstverdichtender Verfüllbaustoffe (ZFSV)“ im Unterbau von Verkehrsflächen

Zeni, Huber, Birle, Cudmani

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 211: Literaturstudie zur Nachhaltigkeit im Straßenbau

Carreño, Schmitz, Kemper, Cypra, Holldorb

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 212: Einfluss von temporär auftretendem Grundwasser auf die Standsicherheit von Straßeneinschnittsböschungen

Denne, Festag, Gattermann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 213: Einfluss der Pendelbewegung der Fahrzeuge des Schwerverkehrs auf die Beanspruchung und Nutzungsdauer von Straßenbefestigungen

Uhlig, Schlimper, Seeger, Zeißler, Wellner, Blasl, Kathmann, Scharrenbroich, Roggendorf, Haas

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 214: Kritikalitätsanalyse für die Bundesverkehrswege als Baustein der Klimawirkungsanalyse

Burg, Franken, Gebhardt, Hewel, Schrempp

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Telefon (04 21) 3 69 03 - 0 · E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-832-4
<https://doi.org/10.60850/bericht-s214>

www.bast.de