Verkehrsprognose 2040

im Auftrag des
Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV)

Band 8.2 M: Eisenbahnverkehrsprognose - Prognosefall 1 "Basisprognose 2040“ (Methodenbericht)

Stand: 21.02.2025 (Version 1.0)

Forschungsprojekt:
„Verkehrsprognose 2040 - Teil 4: Eisenbahnverkehrsprognose“
Forschungskennzeichen: VB 970429

Auftragnehmer

Intraplan Consult GmbH
Dingolfinger Straße 2
81673 München
T+ 49 (89) 45911 – 0
VP2040@intraplan.de

Ansprechpartner

Michael Pohl

Gregor Nebauer

TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH
Merianstraße 16
79104 Freiburg

Ansprechpartner

Stefanos Kotzagiorgis
T +49 (761) 2177 2341
stefanos.kotzagiorgis@trimode-ts.de

Markus Leible
markus.leible@trimode-ts.de

Auftraggeber

Bundesministerium für Digitales und Verkehr
Referat E 21 Infrastrukturplanung, Bahnhöfe
Invalidenstraße 44
D-10115 Berlin

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministers für Digitales und Verkehr unter FE-Nr. VB970423 durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich beim Autor.

Stand: Datum 21.02.2025, (Version 1.0)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Fachteile und Teilprognosen der Verkehrsprognose 2040 1

1.2 Überblick über den Untersuchungsablauf im Fachteil 4 3

1.2.1 Berücksichtigung fahrplanerischer Restriktionen 4

2 Eingesetzte Methoden und Modelle 5

2.1 Netzumlegungen im Schienenpersonenverkehr 5

2.1.1 Einordnung der SPV-Umlegung in den gesamten Untersuchungsprozess 5

2.1.2 Verfahrensschritte bei der Umlegung der Nachfragematrizen des SPV 6

2.1.2.1 Routensuche 8

2.1.2.2 Wahrscheinlichkeiten der Nutzung der je Relation maßgebenden Routen 8

2.1.2.3 Relationswiderstände 11

2.1.2.4 Umlegung 11

2.1.3 Unimodale und intermodale Wegeketten bei der Umlegung der Verflechtungsmatrizen des SPV 11

2.2 Netzumlegungen sowie Wagen- und Zugbildungsprozess im Schienengüterverkehr 14

2.2.1 Wirtschaftliche Zugführung 14

2.2.2 Produktionssysteme 15

2.2.3 Wagenbildung 16

2.2.4 Netzwerkbahn 19

2.2.5 Zugbildung 20

2.2.6 Kapazitätsabhängige Netzumlegung 25

2.2.6.1 Berücksichtigung von Tageszeitscheiben 27

2.2.6.2 Modellierung des Leistungsverhaltens der Strecken 27

2.2.6.3 Mindestzugfolgezeit 28

2.2.6.4 Berücksichtigung von GV-Vorrangstrecken 33

2.2.7 Qualitätssicherung 33

3 Netzmodell Schiene für den Analysefall 2019 35

3.1 STREDA.X 35

3.1.1 Umfang Datenlieferung STREDA.X 36

3.1.2 Ergänzende Datenlieferungen 41

3.1.3 Netzinkonsistenzen und Streckenübergänge 41

3.2 Nichtbundeseigene Eisenbahnen 47

3.3 Ausländisches Schienennetz 47

3.4 Intramodale und intermodale Verknüpfungspunkte 50

3.5 Zusammenfassung 50

3.6 Qualitätssicherung 51

4 Netzmodell Schiene für den Prognosefall 2040 53

4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise 53

4.2 Zu berücksichtigende Infrastrukturmaßnahmen im Inland 54

4.2.1 GVFG (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz) 54

4.2.1.1 Kommunale Vorhaben 54

4.2.1.2 DB-Vorhaben 54

4.2.1.3 Beseitigung Hochwasserschäden 54

4.2.2 InvKG (Investitionsgesetz Kohleregionen) 55

4.2.3 KSP (Klimaschutzpaket) 55

4.2.4 LUFV 8.7 (Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung, Anlage 8.7) 57

4.2.5 Streckenreaktivierungen 58

4.3 Zu berücksichtigende Infrastrukturmaßnahmen im Ausland 59

4.4 Fortschreibung des Basisnetzes für den Analysefall 2019 auf das Basisnetz für den Prognosefall 1 „Basisprognose 2040“ 61

4.4.1 Inland 61

4.4.2 Ausland 62

4.4.3 Intramodale und intermodale Verknüpfungspunkte 64

4.4.4 Zusammenfassung 64

4.4.5 Qualitätssicherung 66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Grundsätzliche Vorgehensweise für eine fahrplanunabhängige Eisenbahnverkehrsprognose	3
Abbildung 2-1	Einordnung der Umlegung des SPV in den Analyse- und Prognoseprozess	6
Abbildung 2-2	Ermittlung der Nutzungswahrscheinlichkeiten im fahrplangenauen Modell	9
Abbildung 2-3	Ermittlung der Nutzungswahrscheinlichkeiten im linienbasierten SPV-Umlegungsmodell	10
Abbildung 2-4	Intermodale Wegekette bei der Routenwahl / Umlegung des Eisenbahnverkehrs	12
Abbildung 2-5	Einordnung der Netzumlegung des Schienengüterverkehrs in den Analyse- und Prognoseprozess	15
Abbildung 2-6	Transformation der Kosten für den Transport der Leerwagen	18
Abbildung 2-7	Kalibrierung der Leerwagenanteile	19
Abbildung 2-8	Phasen bei der Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems	21
Abbildung 2-9	Hierarchiestufen bei der Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems	22
Abbildung 2-10	Sperrzeitentreppe und Mindestzugfolgezeit	29
Abbildung 2-11	Prinzipieller Verlauf der Wartezeitfunktionen	32
Abbildung 2-12	Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit vom Mischungsverhältnis	33
Abbildung 3-1	Knoten Karlsruhe (Übergabe STREDA.X)	43
Abbildung 3-2	Knoten Laupheim (Übergabe STREDA.X)	44
Abbildung 3-3	Knoten Laupheim (Basisnetz 2019)	45
Abbildung 3-4	Knoten Fulda (links: Übergabe STREDA.X, rechts Basisnetz 2019)	45
Abbildung 3-5	Knoten Bebra (links: Übergabe STREDA.X, rechts: Basisnetz 2019)	46
Abbildung 3-6	Europäische Schienengüterverkehrskorridore in Deutschland im Bestandsnetz (Quelle: DB Netz AG)	49
Abbildung 3-7	Überblick Basisnetz 2019	51
Abbildung 4-1	Überblick Basisnetz 2040	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Relation "KNOTEN"	36
Tabelle 3-2	Relation "KANTEN"	38
Tabelle 3-3	Relation "STRECKE"	39
Tabelle 3-4	Relation "KM_SPRUNG"	39
Tabelle 3-5	Relation "STSB"	40
Tabelle 3-6	Streckenübersicht Karlsruhe Gbf	42
Tabelle 4-1	Gegenüberstellung der Basisnetze 2019 und 2040	65

Abkürzungsverzeichnis

BAV	Bundesamt für Verkehr
Bf	Bahnhof
Bft	Bahnhofsteile
BIF	Bahninfrastrukturfonds
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BP	Bedienpunkt
BPÜ	Bedarfsplanüberprüfung
BVU	Beratergruppe Verkehr und Umwelt GmbH
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CID	Corridor Information Document
CPK	Centralny Port Komunikacyjny
DAK	Digitale Automatische Kupplung
DB	Deutsche Bahn
EBO	Eisenbahnbau- und Betriebsverordnung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ETCS	European Train Control System (Europäisches Zugsteuerungs- und Zugsicherungssystem)
EW	Einzelwagenverkehr
GG	Gütergruppe
GK	Generalisierte Kosten
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz
GZ	Ganzzugverkehr
Hbf	Hauptbahnhof
IBL	Ist-Zug-Belastung
i. d. R.	in der Regel
InvKG	Investitionsgesetz Kohleregionen
ISR	Infrastrukturregister
k. A.	Keine Angabe

Kbf	Knotenbahnhof
KSP	Klimaschutzpaket
KV	Kombinierter Verkehr
kWh	Kilowattstunde
LZB	Linienförmigen Zugbeeinflussung
LuFV	Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mrd.	Milliarden
n. b.	nicht besetzt
NEAT	Neue Eisenbahn-Alpentransversale
NST	Nomenclature uniforme des marchandises pour les statistiques de transport
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p. a.	per Annum
PBA	Prognosebegleitender Ausschuss
PEK	Pläne zur Erhöhung der Schienenwegkapazität
Pkm	Personenkilometer
Rbf	Rangierbahnhof
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
RoLa	Rollenden Landstraße
SGV	Schienengüterverkehr
SHHV	Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr
SNB	Schienennetz-Nutzungsbedingungen
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SPV	Schienenpersonenverkehr
TEN-V	transeuropäischen Verkehrsnetzes
Tkm	Tonnenkilometer

TP	Trassenpreis
Ubf	Umschlagbahnhof
UKV	unbegleiteter kombinierter Verkehr
ÜLS	Überlastete Schienenwege
VB	Vordinglicher Bedarf (des BVWP 2030)
VP2040	Verkehrsprognose 2040
ZEB	Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur
zGG	Zulässiges Gesamtgewicht

1 Einleitung

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat am 13.09.2021 die Arbeitsgemeinschaft Intraplan Consult GmbH (Intraplan) und TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH (Trimode) mit der Bearbeitung der **„Verkehrsprognose 2040 - Teil 4: Eisenbahnverkehrsprognose 2040“ Los 1** beauftragt. Die Eisenbahnverkehrsprognose 2040 ist dabei ein verkehrs- und transportmittelspezifischer Teil der übergeordneten **„Verkehrsprognose 2040 - Teil 2: Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose 2040“**, die zeitlich parallel unter Betreuung des BMDV-Referats G 13 „Prognosen, Statistik und Sondererhebungen“ bearbeitet wurde. Im BMDV wird dieses Vorhaben durch das **Referat E 21 „Infrastrukturplanung“** betreut.

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat den gesetzlichen Auftrag, spätestens nach Ablauf von fünf Jahren zu überprüfen, ob die Bedarfspläne zur Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur des Bundes an die zwischenzeitlich eingetretene Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung anzupassen sind (= Bedarfsplanüberprüfung (BPÜ). Dazu wird wie auch bereits in der Bundesverkehrswegeplanung und Bedarfsplanerstellung **in mehrjährigen Abständen eine strategische Langfristprognose** der Verkehrsentwicklung in Deutschland für den Personen- und Güterverkehr erstellt. Die Arbeiten für die aktuelle Verkehrsprognose 2040 (VP 2040) beruhen auf einer **Verkehrsanalyse** für das Jahr **2019**. Das zentrale **Prognosejahr** dieser Verkehrsprognose ist **2040**, darüber hinaus wird in mehreren Szenarien ein Ausblick auf das Jahr 2050 gegeben. Auch für das Jahr 2040 werden zwei alternative Entwicklungspfade berechnet, die sich in den Annahmen zur Entwicklung der wichtigsten Rahmenbedingungen unterscheiden.

Als zentrale Grundlage aller weiteren Arbeitsschritte wurde zunächst eine Definition der zu berechnenden Szenarien vorgenommen und zu allen wichtigen Eingangsgrößen eine Definition der Prognoseprämissen erstellt. Dies erfolgte unter Einbeziehung eines **prognosebegleitenden Ausschusses** aus Verwaltung, Wissenschaft und Praxis, der das Projekt fachlich unterstützt und begleitet. Die Prognoseprämissen decken insbesondere die Bereiche wirtschaftliche und soziodemografische Rahmenbedingungen, Entwicklung der Verkehrsnetze und Verkehrsangebote sowie politische Rahmenbedingungen in Verkehrs-, Umwelt- und Energiepolitik ab.

In der Verkehrsprognose 2040 wird die Verkehrsentwicklung in Deutschland bis 2040 prognostiziert. Die „Basisprognose 2040“ (Prognosefall 1 der VP 2040) stellt dabei die Grundlage für die Bedarfsplanüberprüfung dar. Zusätzlich wird es für 2040 noch einen zweiten Prognosefall geben sowie für 2050 noch drei sogenannte Langfrist-Szenarien, die die beiden Prognosepfade fortführen.

1.1 Fachteile und Teilprognosen der Verkehrsprognose 2040

Erster Arbeitsschritt auf dem Weg der Prognoseerstellung war im Fachteil 2 die Erarbeitung einer Wirtschaftsprognose. Bei einem klaren Fokus auf die regionale Entwicklung in Deutschland wurde dabei dennoch die weltweite Entwicklung immer mitbetrachtet. Zwingend ist hierbei eine Unterscheidung nach Wirtschaftssektoren, damit die internationalen Warenströme wert- und mengenmäßig erfasst werden können.

Neben der Analyse und Prognose der Verkehrsverflechtungen im Personen- und Güterverkehr wurde im Fachteil 2 auch ein großes Gewicht auf die Einbeziehung einer Seeverkehrsprognose und einer Luftverkehrsprognose (Passage und Cargo) gelegt.

Aggregiertes Ergebnis der Verkehrsanalyse und -prognose sind bundesweite Eckwerte des Verkehrsgeschehens im Personen- und Güterverkehr nach Hauptverkehrsbeziehungen, Verkehrsmitteln und Fahrtzwecken bzw. Gütergruppen. Daneben wurde im Rahmen der Prognoseerstellung im Fachteil 2 eine Verkehrsverflechtungsmatrix in einer hohen **sachlichen** (Verkehrsmittel, Fahrtzwecke bzw. Gütergruppen) **und räumlichen** (Verkehrszellen im In- und Ausland) **Detailtiefe** erzeugt.

Parallel werden in den Fachteilen 3 bis 5 – Straßenverkehrsprognose 2040 (Fachteil 3), Eisenbahnverkehrsprognose 2040 (Fachteil 4) und Binnenschifffahrtsprognose 2040 (Fachteil 5) – eine Analyse und Prognose der verkehrsmittelspezifischen Verkehrsnachfrage erarbeitet und Modelle entwickelt, mit denen die Verkehrsverflechtungsmatrizen auf die Verkehrsinfrastruktur bzw. das Verkehrsangebot umgelegt werden können und so ein Bild der Aus- und ggf. Überlastung der Infrastrukturabschnitte der einzelnen Verkehrsmittel erzeugt werden kann. In iterativen Rückkoppelungsschritten zwischen Fachteil 2 und den Fachteilen 3, 4 und 5 wurden die Verkehrs- und die Transportnachfrage mit den Angebotsqualitäten der verschiedenen Verkehrs- und Transportmittel und den Kapazitäten der Verkehrsinfrastruktur sowohl im Personenverkehr als auch im Güterverkehr abgeglichen.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden dann die Umweltwirkungen der für das Prognosejahr prognostizierten Verkehre berechnet, so dass eine Rückkoppelung zu den energie- und klimapolitischen Zielen möglich ist.

Die im Rahmen dieser Studie und der parallel bearbeiteten Fachteile erarbeiteten Prognosegrundlagen bilden dann die Basis für die Durchführung des Arbeitsprogramms im Rahmen der Bedarfsplanüberprüfung.

Für die **„Verkehrsprognose 2040 - Teil 4: Eisenbahnverkehrsprognose 2040“ Los 1** wird sowohl ein Ergebnisbericht als auch ein Methodenbericht erstellt. Das gesamte Berichtswesen der VP2040 gliedert sich strukturiert wie folgt:

1. Gesamtüberblick (Fachteil 2)
2. Bevölkerungsprognose (Fachteil 1)
3. Wirtschaftsprognose (Fachteil 2)
4. Seeverkehrsprognose (Fachteil 2)
5. Luftverkehrsprognose (Fachteil 2)
6. Verkehrsentwicklungsprognose Personen- und Güterverkehr sowie Klimawirkungen des Verkehrs (Fachteil 2)
7. Straßenverkehrsprognose (Fachteil 3)
8. Eisenbahnverkehrsprognose (Fachteil 4)
9. Wasserstraßenverkehrsprognose (Fachteil 5)

Mit dem hier vorliegenden Bericht „**VP2040-Band 8.2 M: Eisenbahnverkehrsprognose - Prognosefall 1 "Basisprognose 2040“ (Methodik)**“ werden Aspekte zur

» Methodik und

» Qualitätssicherung

dokumentiert, die zu den im Ergebnisbericht „**VP2040-Band 8.1 E: Eisenbahnverkehrsprognose - Prognosefall 1 "Basisprognose 2040“ (Ergebnisse)**“ dargestellten Ergebnissen führten.

Der vorliegende Methodenbericht behandelt die Grundlagen der Erstellung der Basisprognose 2040 im Rahmen der Eisenbahnverkehrsprognose 2040. Dies umfasst im Einzelnen die Beschreibung der Methodik und Qualitätssicherung

» der Netzumlegungen im Schienenpersonenverkehr (SPV) und

» der Netzumlegungen im Schienengüterverkehr (SGV),

» die Erstellung des Netzmodells Schiene für den Analysefall 2019 sowie

» die Erstellung des Netzmodells Schiene für den Prognosefall 2040, die Basisprognose 2040.

1.2 Überblick über den Untersuchungsablauf im Fachteil 4

Die grundsätzliche Vorgehensweise hierzu ist in **Abbildung 1-1** dargestellt. Die verwendeten Methoden und Modelle werden im Einzelnen in den folgenden Kapiteln beschrieben.

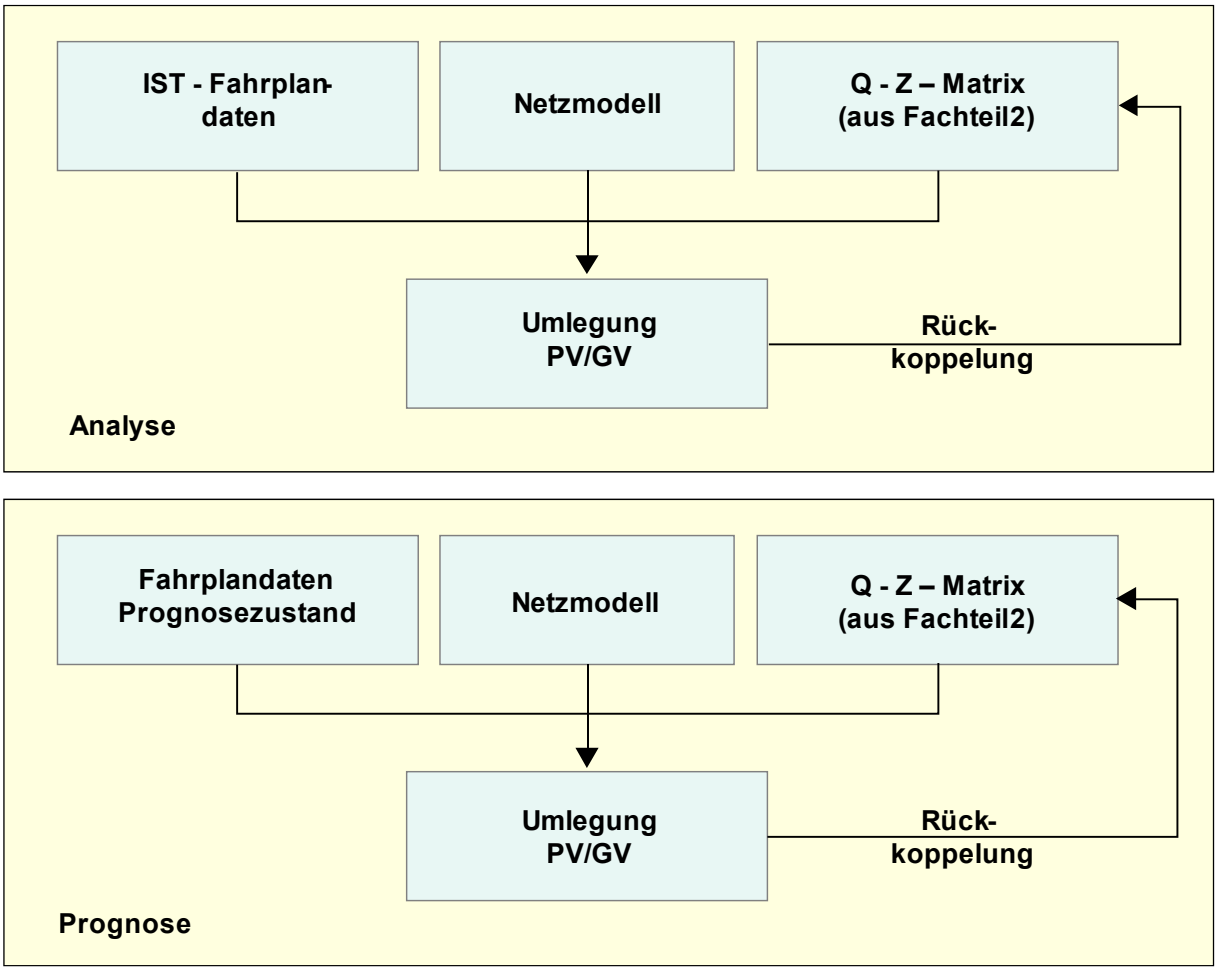

Abbildung 1-1 Grundsätzliche Vorgehensweise für eine fahrplanunabhängige Eisenbahnverkehrsprognose

Für die Analyse lag bereits ein Fahrplan (Fahrplan 2019) vor, der unmittelbar in das SPV-Umlegungsmodell importiert werden konnte, so dass fahrplanerische Restriktionen direkt abgebildet werden konnten. Für den SGV wurden die verfügbaren Kapazitäten im Rahmen der Modellkalibrierung mittelbar aus den tatsächlich gefahren Zugleistungen abgeleitet. Zusammen mit den Nachfragematrizen zum Schienenpersonen- und zum Schienengüterverkehr (Input aus dem Fachteil 2) und dem Netzmodell Schiene für den Analysezustand bilden die Fahrplandaten damit die Grundlage der Umlegungen. In einem iterativen Rückkoppelungsprozess wurde die auf das Netzmodell umgelegte Verkehrsnachfrage und die Kapazitäten im Schienennetz bzgl. Streckenauslastung, im Schienenpersonenverkehr bzgl. Auslastung der Linien sowie mit empirischen Sollgrößen zum Bahnverkehr abgeglichen.

Für die Prognosezustände lagen keine Fahrpläne vor. Da das Prognosenetz 2040 u. a. alle Infrastrukturmaßnahmen des Vordringlichen Bedarfs des Bedarfsplans für die Bundesschienenwege beinhalten sollte, konnten hierfür die Fahrplankonzepte aus dem Deutschlandtakt, die in Form von Netzgrafiken vorliegen, herangezogen werden, so dass fahrplanerische Restriktionen für den SPV berücksichtigt als auch verfügbare Trassen für den SGV ermittelt und in die jeweiligen

Umlegungsmodelle integriert werden konnten. Der oben skizzierte Rückkoppelungsprozess kam auch hier wieder zur Anwendung.

1.2.1 Berücksichtigung fahrplanerischer Restriktionen

Die Erstellung der Eisenbahnverkehrsprognose erfolgte fahrplanunabhängig, das heißt ohne Berücksichtigung tatsächlicher Umsteigezeiten, aber unter Berücksichtigung fahrplanerischer Restriktionen.

Fahrplanerische Restriktionen ergeben sich aus der begrenzten Infrastrukturkapazität auf Strecken und Knoten einerseits und den Anforderungen eines konkreten Fahrplans an die Infrastruktur andererseits. Sie äußern sich u. a. in

» Überholungen von „langsamen“ durch „schnelle“ Züge,

» Kreuzungshalten auf eingleisigen Strecken,

» Fahrzeitzuschlägen bei der Zugfolge langsam – schnell auf hochbelasteten Abschnitten und

» Haltezeitzuschlägen in Knotenbahnhöfen beim Übergang auf anschließende Strecken.

Das heißt, dass Zugfahrten nicht allein entsprechend dem Rollmaterial und dem Infrastrukturzustand und unter Berücksichtigung von Regel- und sonstigen Zuschlägen trassiert werden können, sondern ggf. zusätzliche Fahr- und/oder Haltezeitverlängerungen erfahren, wodurch die fahrplanerischen Restriktionen nachfragewirksam werden.

In der Analyse erfolgte die Berücksichtigung von Fahrplanrestriktionen unmittelbar aus der Verwendung von IST-Fahrplandaten, da der konkrete Fahrplan diese Restriktionen bereits enthält.

In den Prognosezuständen können diese Restriktionen für definierte Infrastrukturzustände aus netzweit ausgeplanten Fahrplankonzepten, wie sie z. B. mit dem Zielfahrplan Deutschlandtakt vorliegen, übernommen werden. Dies gilt mindestens so lange, wie die grundsätzliche Struktur eines Fahrplankonzepts nicht verändert wird. Für die Basisprognose 2040 und das zugehörige Netzmodell Schiene traf dies zu – weder die Anpassung der Bedienungsangebote des Schienenpersonenfernverkehrs (SPFV) noch die erforderliche Anpassung der Bedienungsangebote des Schienenpersonennahverkehrs (SPNV) haben die grundsätzliche Fahrplanstruktur des Deutschlandtakts verändert, lediglich in Einzelfällen und in geringem Umfang waren punktuelle Anpassungen der Fahrplankonzepte erforderlich. Mit der Übernahme – ggf. angepasster – linienspezifischer Fahr- und Haltezeiten aus den Fahrplankonzepten des Deutschlandtakts war somit die Berücksichtigung fahrplanerischer Restriktionen auch für das Prognosenetz 2040 sichergestellt.

2 Eingesetzte Methoden und Modelle

Zentrale methodische Aufgabe des Projektes war die Erstellung von Widerstandsmatrizen und Verkehrsumlegungen für das Verkehrsmittel „Eisenbahn“. Die relationsspezifischen quell- und zielbezogenen Verkehrswiderstände, die das Verkehrs- und Transportangebot zwischen Quelle und Ziel beschreiben und die aufgrund der in unterschiedlichen Dimensionen vorliegenden Einflussgrößen[1] in „generalisierte Kosten“ (GK) umgerechnet werden, dienen dabei als Eingangsdaten für den Fachteil 2 des Gesamtprojekts, die Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose. Da diesem Zwischenergebnis innerhalb des gesamten Verfahrensablaufs eine hohe Bedeutung zukommt, wurden in einem iterativen Rückkopplungsprozess zwischen den Bearbeitern der Fachteile 2 und 4 das Widerstandsniveau und die davon beeinflussten Nachfragemengen (im Personenverkehr) bzw. die Transportmengen (im Güterverkehr) solange abgeglichen, bis sich ein Gleichgewichtszustand beider Größen ergab bzw. bis die Nachfrage- und Transportmengen den empirischen Sollwerten entsprachen. Der Rückkoppelungsprozess fand sowohl für die Verkehrsanalyse 2019 als auch für die Verkehrsprognose 2040 Anwendung. Die Erstellung von Eisenbahn-Umlegungen, das heißt die Umlegung der relationsbezogenen Nachfrage- bzw. Transportmengen auf die Netzelemente des Schienenverkehrs, stellen das zentrale Ergebnis dieses Teils der Gesamtprognose dar. Daher werden die verwendeten Modelle und Methoden in diesem Kapitel beschrieben.

Die Erstellung der Eisenbahnverkehrsprognose 2040 basiert auf einer konsistenten modellgestützten Abbildung der Wirkungsprognosen bzgl. Mengengerüsten und Verkehrsumlegung. Modellparameter und Modellannahmen, z. B. Zeitkostenansätze und die Modellierung der Nutzer- und Transportkosten, sind konsistent zur aktualisierten BVWP-Bewertungsmethodik.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Methoden und Modelle zur Erstellung der Eisenbahnverkehrsprognose 2040 detailliert beschrieben, für

» den Personenverkehr in **Kapitel 2.1** und

» den Güterverkehr in **Kapitel 2.2** .

2.1 Netzumlegungen im Schienenpersonenverkehr

Im **Kapitel 2.1.1** wird zunächst eine Einordnung dieses Modellschritts in den gesamten Untersuchungsprozess vorgenommen. Es schließt sich eine Beschreibung des Umlegungsverfahrens im **Kapitel 2.1.2** an. Abschließend wird das Vorgehen bei der Erstellung der Anbindungen und damit die Berücksichtigung der intermodalen Wegeketten in **Kapitel 2.1.3** im Detail beschrieben.

2.1.1 Einordnung der SPV-Umlegung in den gesamten Untersuchungsprozess

Die Einordnung der Netzumlegungen des Schienenpersonenverkehrs in den gesamten Analyse- und Prognoseprozess ist in **Abbildung 2-1** dargestellt.

---

[1] Im Personenverkehr sind das beispielsweise Fahr- bzw. Reisezeiten, Fahrtkosten und -längen, Umsteigehäufigkeiten und -zeiten sowie Wartezeiten, im Güterverkehr zum Beispiel Transportzeiten, -kosten und -längen.

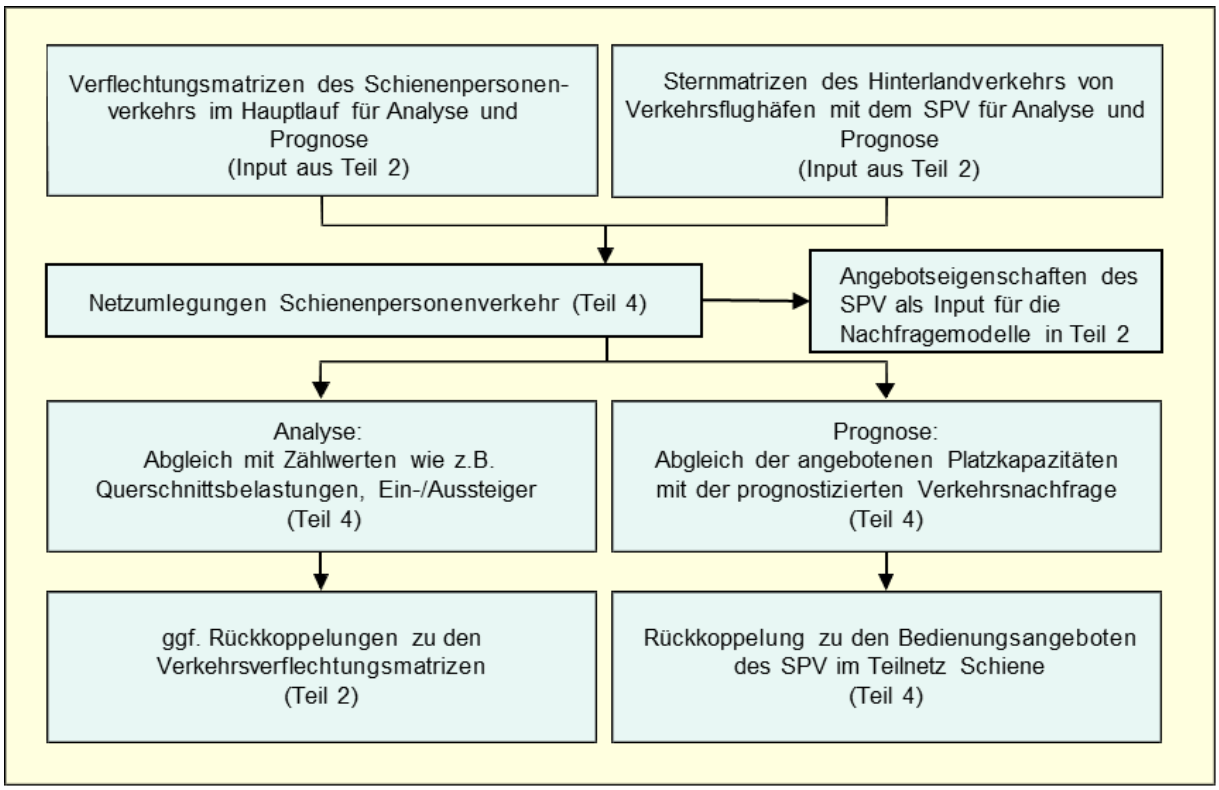

Abbildung 2-1 Einordnung der Umlegung des SPV in den Analyse- und Prognoseprozess

Die Verflechtungsmatrix[2] des SPV im Hauptlauf und die Sternmatrix[3] des landseitigen Zubringerverkehrs zu den Verkehrsflughäfen mit dem SPV wurden zu einer Gesamtmatrix zusammengefasst und unter Berücksichtigung intermodaler Wegeketten auf das Teilnetz Schiene umgelegt.

Bei der Modellierung des Analysezustandes erfolgte ein Abgleich der Umlegungsergebnisse mit Zählwerten wie Querschnittsbelastungen oder Ein- und Aussteigern. Waren zur Herstellung der Validität des gesamten nachfragebezogenen Datenkranzes Matrixkorrekturen erforderlich, erfolgten Rückkoppelungen mit dem Fachteil 2.

Bei der Modellierung des Prognosehorizonts 2040 erfolgte ein Abgleich der im Teilnetz Schiene 2040 angebotenen Platzkapazitäten mit der prognostizierten Verkehrsnachfrage. Bei festgestellten Überlastungen oder Unterauslastungen erfolgte eine Rückkoppelung zu den für den SPV angenommenen Bedienungshäufigkeiten und zur Nachfrageberechnung im Fachteil 2.

2.1.2 Verfahrensschritte bei der Umlegung der Nachfragematrizen des SPV

Für den SPV wurde ein Liniennetzmodell verwendet, bei dem sowohl fahrplanfeine als auch pauschale Umsteigezeiten berücksichtigt werden können. Das Liniennetzmodell wurde seit seiner Einführung vor gut 20 Jahren in allen deutschlandweiten Eisenbahnverkehrsverflechtungen von Intraplan eingesetzt

---

2 Die Verflechtungsmatrizen bilden die Verkehrsnachfrage in Form von Quelle-Ziel-Relationen zwischen prinzipiell allen Verkehrszellen ab – die Eisenbahn wird hierbei als Hauptverkehrsmittel betrachtet.

3 Bei den Sternmatrizen des landseitigen Zubringerverkehrs zu den Flughäfen ist grundsätzlich eine Flughafen-Zelle Quelle oder Ziel einer Relation. Die Bahn wird hierbei nur auf dem Teilweg des Flughafenzu- oder -abgangs genutzt, der Teil einer übergeordneten Quelle-Ziel-Relation ist, bei der das Flugzeug das Hauptverkehrsmittel ist.

(Bundesverkehrswegepläne, Bedarfspläne, Bedarfsplanüberprüfungen). Es basiert auf der Definition von Linien (im Sinne einer Abfolge von Haltestellen), die mit einer Bedienungshäufigkeit, einem Tarif sowie mit Fahr- und Haltezeiten versehen werden. Die Zeitlagen der einzelnen Fahrten werden als vertaktet angenommen. Damit entfällt der große Aufwand einer Fahrplankonstruktion mit Abstimmung der Umsteigebeziehungen, die in Prognosenetzen zudem eine Genauigkeit des Fahrplanangebotes suggeriert, die eigentlich nicht gegeben ist. Nachteil dieses Vorgehens ist, dass keine exakten Umsteigezeiten berechnet werden können und dass die Tagesganglinie der Nachfrage nicht berücksichtigt werden kann. Vorteile sind der deutlich geringere Aufwand und die damit verbundenen deutlich schnelleren Bearbeitungszeiten. Zudem ist die Verwendung des Liniennetzmodells zur Beantwortung strategischer Langfrist-Fragestellungen situationsadäquat.

Die Originallinien eines Fahrplans weisen häufig meist geringfügige Abweichungen bezüglich des Linienverlaufs sowie der Fahr- und Haltezeiten auf. Um die spätere Modellierung von geänderten SPV-Linien (z. B. im Bezugsfall 2040[4] oder bei der Bewertung von Planfallvarianten) handhabbar zu halten, werden die Originallinien zu systematisierten Linien mit festen Taktrastern zusammengefasst.

Die Eisenbahnverkehrsprognose 2040 erfolgte wie in **Kapitel 1.2.1** bereits beschrieben mit einer fahrplanunabhängigen Umlegung des SPV unter Ansatz von pauschalen Umsteigezeiten. Die Umsteigezeiten wurden dabei differenziert nach Umsteigevorgängen zwischen verschiedenen Zuggattungen (z. B. SPFV, Express-Linien des Nahverkehrs, sonstige Nahverkehrslinien) definiert.

Die Abgrenzung zwischen Personennahverkehr und Personenfernverkehr erfolgte anhand der genutzten Zuggattungen:

» im Fernverkehr z. B. ICE, IC, FR („Fernverkehr Regional“, nicht eigenwirtschaftlicher Fernverkehr) und

» im Nahverkehr z. B. bestellte Verkehre (Express-Linien des Nahverkehrs, sonstige Nahverkehrslinien, S-Bahn und vergleichbare Zuggattungen anderer Eisenbahnverkehrsunternehmen).

Das SPV-Umlegungsmodell besteht aus den folgenden vier Bausteinen:

» Routensuche: Ermittlung aller sinnvoll nutzbaren Routen je Relation unter Berücksichtigung intermodaler Wegeketten

» Fahrtzweckspezifische Bestimmung der Nutzungswahrscheinlichkeiten je Route: Bewertung, Vergleich, Auswahl und Gewichtung der relevanten Alternativrouten

» Ermittlung der Angebotseigenschaften des SPV (gewichtete Mittelwerte der Verkehrswiderstände) je Relation und Fahrtzweck

» Umlegung: Verteilung der je Relation und Fahrtzweck ermittelten Verkehrsnachfrage auf die relevanten Routen und die dabei genutzten Linien und Teilstrecken.

---

4 Das Bahnnetzmodell für den Bezugsfall 2040 wird aus dem Netzmodell der Basisprognose 2040 abgeleitet und dient als Grundlage für nachfolgende Maßnahmenuntersuchungen und Bewertungen von Planfallvarianten. Im Gegensatz zum Netzmodell der Basisprognose 2040 sind im Netzmodell Bezugsfall 2040 nur diejenigen Aus- und Neubaumaßnahmen im Bahnverkehr Deutschlands abgebildet, die seit dem Analysejahr 2019 entweder bereits in Betrieb gegangen sind, die sich bereits im Bau befinden oder für die es bereits feste Finanzierungsvereinbarungen gibt. Insofern bildet der Bezugsfall 2040 einen gegenüber der Basisprognose 2040 deutlich reduzierten Ausbauzustand des Bahnnetzes in Deutschland ab.

2.1.2.1 Routensuche

Im Baustein „Routensuche“ werden alle relevanten Routen für eine Quelle-Ziel-Relation ermittelt, die zu einer Verbesserung des relationsspezifischen Widerstands beitragen können. Dazu werden zunächst alle denkbaren Verknüpfungen zwischen den Linien gebildet und untereinander verglichen. Hierbei werden die Routen verworfen, die mit Sicherheit in keinem der definierten Fahrtzwecke – mit ihren verschiedenen Wertansätzen für die Beurteilung der Angebotseigenschaften, Zeitkosten oder Umsteigesensitivität – eine sinnvolle Route darstellen können.

2.1.2.2 Wahrscheinlichkeiten der Nutzung der je Relation maßgebenden Routen

Als Grundlage für die Ermittlung der Nutzungswahrscheinlichkeiten der je Relation maßgebenden Routen werden zunächst die Widerstände für jede dieser Routen (exkl. der theoretischen Wartezeiten[5]) ermittelt unter Berücksichtigung

» der bewerteten Reisezeit,

» der Zeitkosten abhängig vom Fahrtzweck,

» der Anzahl der Umsteigevorgänge,

» der Umsteigesensitivität abhängig vom Fahrtzweck und

» des Fahrpreises abhängig vom Fahrtzweck.

Da diese Einflussgrößen in unterschiedlichen Dimensionen vorliegen werden sie zur besseren Vergleichbarkeit in „Generalisierte Kosten“ (GK) umgerechnet, in diesem Fall in generalisierte Kosten der Route einschließlich der Anbindungen, abhängig vom Fahrtzweck (Eigenwiderstand der Route).

Die bewertete Reisezeit berücksichtigt produktspezifische Komfortcharakteristika und subjektive Produktpräferenzen der Reisenden in Form einer Gewichtung der Reisezeiten.

Die Nutzungswahrscheinlichkeit einer Route wird aus einer Analogiebetrachtung zum fahrplangenauen Verfahren ermittelt. In diesem wird fahrtzweckspezifisch zu jedem Zeitpunkt des Tages jeweils die Route als Bestweg ausgewählt, die in der Summe von Eigenwiderstand und dem Widerstand aus der Wartezeit (Differenz zwischen Wunschabfahrtszeit und Zeitlage der jeweiligen Route) den geringsten Widerstand aufweist (vgl. **Abbildung 2-2**, oberer Teil). Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist für jede relevante Route, die zumindest einmal am Tag den Bestweg darstellt, ein Zeitintervall, für das sie den Bestweg darstellt.

Diese Bestwegzeitintervalle werden anschließend mit der Tagesganglinie des betrachteten Fahrtzweckes überlagert (vgl. **Abbildung 2-2**, unterer Teil). Der Flächeninhalt im Verhältnis zur Gesamtfläche repräsentiert dabei die Nutzungswahrscheinlichkeit (Anteil am Aufkommen des Gesamttages).

---

[5] Theoretische Wartezeit ist die Differenz der Wunschabfahrtzeit des Fahrgastes bei Gleichverteilung der Verkehrsnachfrage über den Betriebszeitraum und der modellierten Abfahrtszeit laut SPV-Umlegungsmodell.

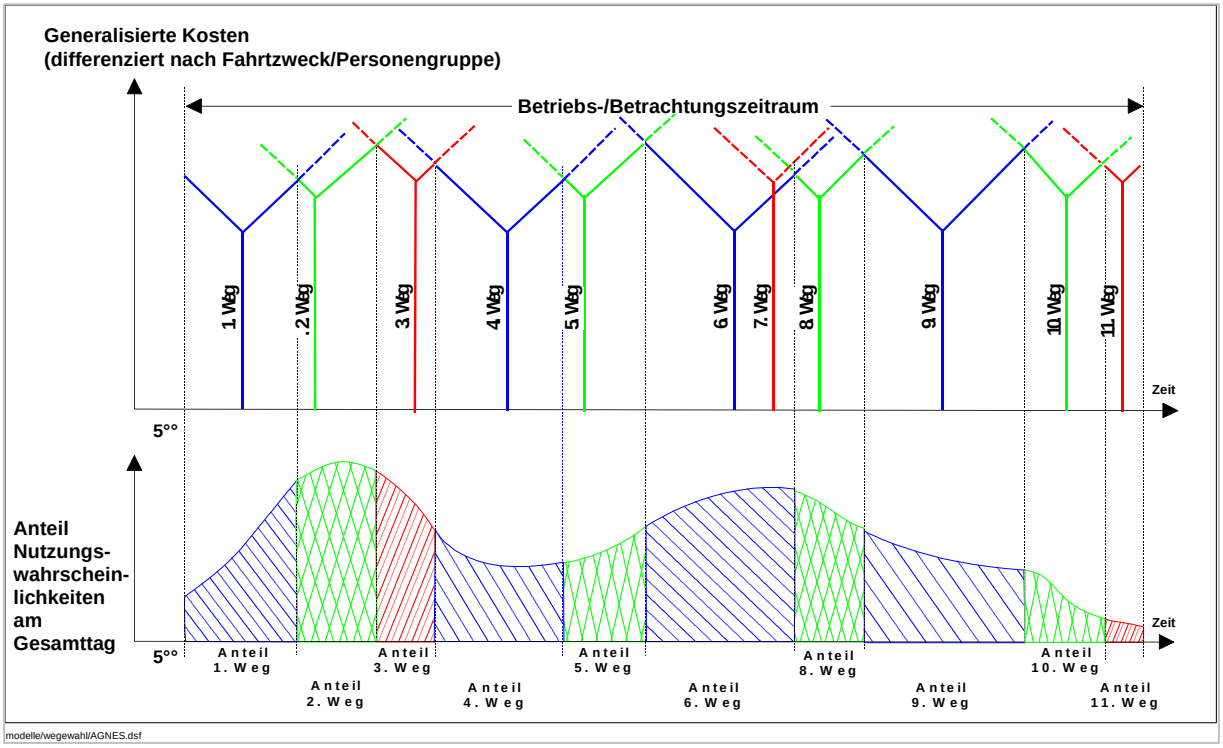

Abbildung 2-2 Ermittlung der Nutzungswahrscheinlichkeiten im fahrplangenauen Modell

Da im linienbasierten SPV-Umlegungsmodell die exakten Abfahrtszeiten der alternativen Routen im Tagesverlauf nicht definiert sind, ist eine Berücksichtigung von Nachfrageganglinien[6] nicht nötig, es wird daher eine Gleichverteilung der Verkehrsnachfrage über den betrachteten Betriebszeitraum unterstellt. Unter der Annahme der konstanten Nachfrageganglinie ist die Nutzungswahrscheinlichkeit einer Route nur noch von der Angebotsqualität der einzelnen Routen und der Angebotsdichte abhängig. Es spielt also keine Rolle, zu welchem Zeitpunkt diese Zugfahrt durchgeführt wird.

Wie im fahrplangenauen Verfahren werden zu jeder gefundenen Route „Bestwegzeitintervalle“ bestimmt, wobei nicht die zeitliche Lage, sondern ausschließlich die Länge der Zeitintervalle von Interesse ist. Bei der Bestimmung der „Bestwegzeitintervalle“ je Relation wird eine optimale Verteilung der Abfahrtszeiten aus Sicht des Fahrgastes unterstellt. Diese wird dann erreicht, wenn die Schnittpunkte der Generalisierten-Kosten-Linien (GK-Linien) aller Routen im Zeit-Kosten-Diagramm immer auf dem gleichen Widerstandsniveau liegen (vgl. **Abbildung 2-3**). Die Reihenfolge der einzelnen Routen spielt bei dieser Betrachtung dann keine Rolle mehr.

6 Nachfrageganglinien bilden die zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage zum Beispiel nach dem Abfahrtszeitpunkt ab, sei es in jahreszeitlicher oder saisonaler Hinsicht, nach Monaten, Wochen oder Wochentagen und/oder nach Stunden und Minuten.

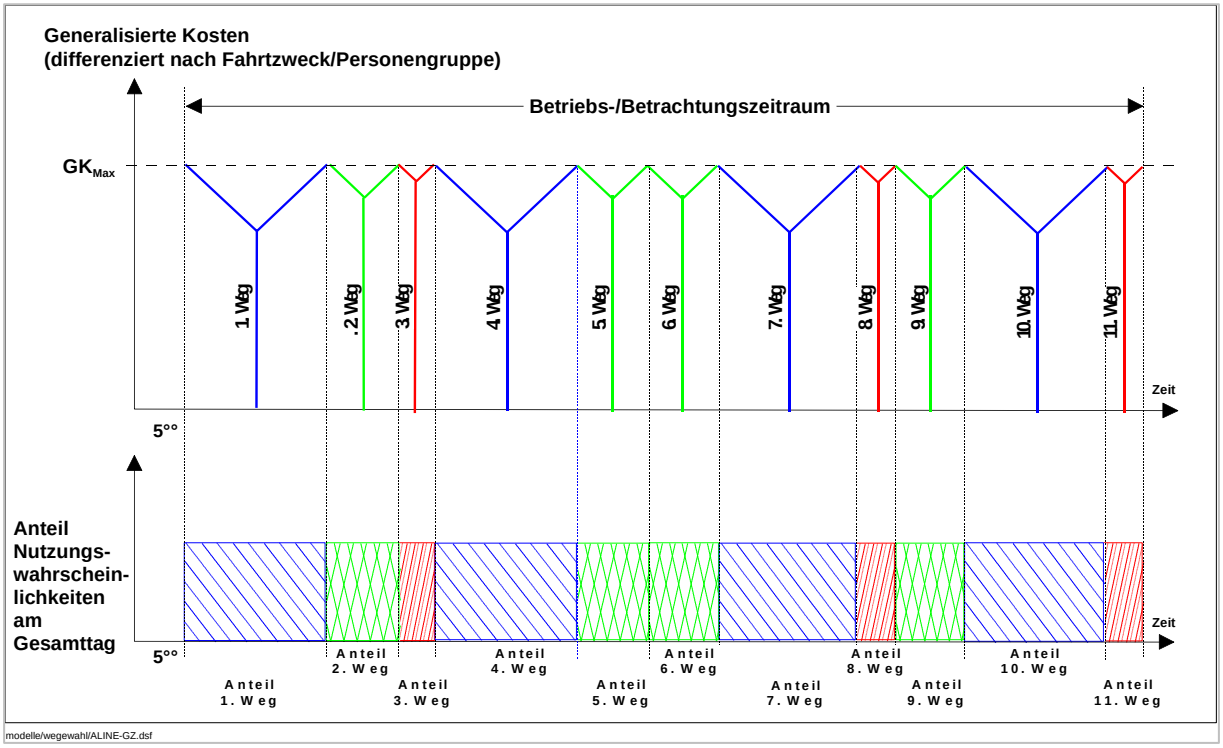

Abbildung 2-3 Ermittlung der Nutzungswahrscheinlichkeiten im linienbasierten SPV-Umlegungsmodell

Mit jeder zusätzlichen relevanten Route sinkt das Widerstandsniveau der Schnittpunkte der GK-Linien (GK_{max}) und entsprechend die durchschnittlichen Generalisierten Kosten der betrachteten Relation. Als relevant wird eine Route dann angesehen, wenn sie zur Minimierung der Generalisierten Kosten der Relation beitragen kann. Dies ist dann der Fall, wenn der Widerstandswert dieser Route (ohne theoretische Wartezeit) niedriger ist als das maximale Widerstandsniveau der Generalisierten Kosten (GK_{max}).

Das bedeutet, dass die Auswahl der Routen und deren Nutzungswahrscheinlichkeiten nicht nur vom Verhältnis der Angebotsqualität der Routen untereinander abhängig sind, sondern auch von der resultierenden Angebotsdichte aller ausgewählten Verbindungen. Mit diesem Regelungsalgorithmus wird sichergestellt, dass alle relevanten Routen gefunden werden.

Sind alle relevanten Routen gefunden, wird für jede Route die Nutzungswahrscheinlichkeit je Fahrtzweck berechnet.

Dieser Verfahrensansatz wird seit mehr als zwanzig Jahren für Umlegungen im Fernverkehr eingesetzt und hat sich vor dem Hintergrund der zum Teil stark variierenden Angebotseigenschaften unterschiedlicher Produkte (z. B. schnelle Fernverkehrsverbindung versus langsame Nahverkehrsverbindungen) in einem integrierten Netzmodell für Nah- und Fernverkehr als vorteilhaft erwiesen, da andere Verfahrensansätze zu hohe Bedienungshäufigkeiten und zu langsame Fahrzeiten ermitteln, wenn langsame Nahverkehrsverbindungen trotz einer dichten Bedienung mit schnellen Fernverkehrsverbindungen bei der Gewichtung der Wege mit berücksichtigt werden. Dieser Verfahrensansatz verwirft langsamere Verbindungen, wenn schnelle Verbindungen häufig verkehren, behält sie jedoch bei, wenn die schnellen Verbindungen nur selten angeboten werden, die Preisdifferenz hoch ist oder bei der schnellen Verbindung öfter umgestiegen werden muss.

2.1.2.3 Relationswiderstände

Die Verkehrswiderstände je Quelle-Ziel-Relation stellen das gewichtete Mittel der Eigenwiderstände aller relevanten Routen zuzüglich der generalisierten Kosten der zeitlichen Verfügbarkeit dar. Letztere ergeben sich aus dem Zeitwert für die theoretische Wartezeit abhängig vom Fahrtzweck und der Anzahl der relevanten Routen im betrachteten Betriebszeitraum (z. B. 16 Stunden).

2.1.2.4 Umlegung

Schritt 1: Verteilung der relations- und fahrtzweck-bezogenen Nachfrage auf die Routen

Das Umlegungsverfahren verteilt die Nachfrage je Quelle-Ziel-Relation und Fahrtzweck auf die für diese Quelle-Ziel-Relation relevanten Alternativrouten entsprechend deren Nutzungswahrscheinlichkeiten im betreffenden Fahrtzweck.

Schritt 2: Verteilung auf die Teilabschnitte (Teilwege) innerhalb der Route

Anschließend wird die Nachfrage je Alternativroute den jeweils genutzten Linien unter Berücksichtigung von Einstiegs-, Ausstiegs- und ggf. Umsteigebahnhöfen zugeordnet und die Besetzung der Linien zwischen den Halten ermittelt.

Schritt 3: Aggregation der routen- und teilabschnittsbezogenen Umlegungsergebnisse über alle Relationen und Fahrtwecke

Durch Aggregation der Umlegungsergebnisse über alle Relationen und Fahrtzwecke erhält man die Verkehrsnachfrage je Linienabschnitt. Die Ergebnisse werden weiter zu Kanten- bzw. Bahnhofsbelastungen differenziert nach SPFV und SPNV aggregiert.

2.1.3 Unimodale und intermodale Wegeketten bei der Umlegung der Verflechtungsmatrizen des SPV

Im vorangegangenen Unterkapitel wurde der Gesamtablauf des SPV-Netzmodells erläutert, der mit den Berechnungsschritten Routensuche, Ermittlung der Nutzungswahrscheinlichkeiten und Umlegung (inklusive Erstellung der Widerstandsmatrix) die erforderliche Bandbreite an Modellschritten abdeckt. In diesem Unterkapitel soll weiter im Detail auf den wichtigen Aspekt der intermodalen Wegeketten eingegangen werden. Diese sind sowohl von Bedeutung, wenn die Eisenbahn das Hauptverkehrsmittel eines Weges bildet, als auch, wenn die Eisenbahn einen Zubringerdienst zu einem anderen Verkehrsmittel – in diesem Fall dem Luftverkehr – übernimmt. Da das Vorgehen ähnlich ist, werden beide Anwendungsfälle gemeinsam beschrieben, und es wird gesondert hingewiesen, wenn für den Anwendungsfall „Luftzubringerverkehr“ eigene Bedingungen gelten.

Wie in der Beschreibung der Routensuche dargestellt, besteht ein Weg mit dem Hauptverkehrsmittel Bahn im Kern aus dem sogenannten Hauptlauf, der mit der Eisenbahn abgewickelt wird (siehe **Abbildung 2-4**). Innerhalb dieses Hauptlaufs können, wie dargestellt, auch Umsteigevorgänge erforderlich sein. Da aber in der Verkehrsverflechtungsmatrix immer Tür-zu-Tür-Wege betrachtet werden, ist in aller Regel ein gewisser Vor- und Nachlauf („letzte Meile“) erforderlich, der den Zugang zum / den Abgang vom Bahnhof beschreibt. Diese Teilwege finden nicht im Verkehrsmittel „Eisenbahn“ statt und sind daher als intermodale Weg-Bestandteile zu betrachten. Im kurzen Entfernungsbereich erfolgen diese nicht-motorisiert, d. h. zu Fuß oder mit dem Fahrrad. Im höheren Entfernungsbereich kommen in der klassischen Modellierung die Zugangs-Verkehrsmittel ÖPNV (Öffentlicher Personen-Nahverkehr, also U-Bahn, Straßenbahn und Bus) und MIV (motorisierter Individualverkehr, d. h. Pkw, Motorrad oder auch Taxi) hinzu.

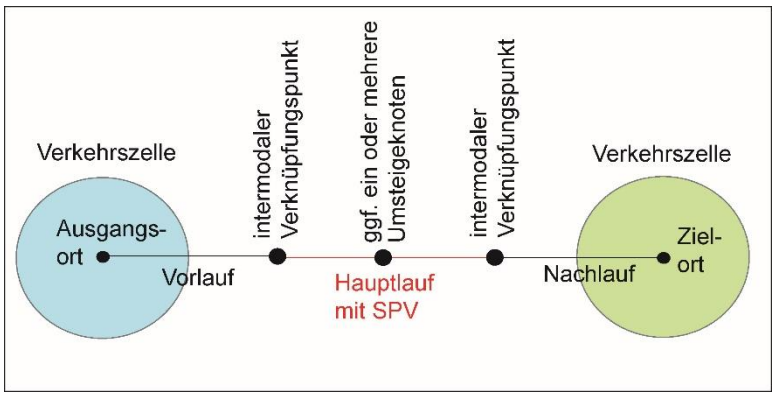

Abbildung 2-4 Intermodale Wegekette bei der Routenwahl / Umlegung des Eisenbahnverkehrs

Die räumliche Feinheit des SPV-Modelles ist maßgeblich durch die im Fachteil 2 der Verkehrsprognose definierte Verkehrszelleneinteilung vorgegeben. Auch mit einem hohen Detaillierungsgrad im Fachteil 4 ist der Granularität der feinräumigen Modellierung eine Grenze gesetzt. Dementsprechend werden innerhalb der im Fachteil 4 verwendeten Verkehrszellen nicht unmittelbar modellierbare Teilwege mit anderen Verkehrsmitteln erforderlich sein. Diese werden durch die sogenannten Anbindungen modelliert. Eine Anbindung stellt die Verbindung zwischen der flächigen Modellierungsebene (Verkehrszellen) und der Netzwerk-Ebene (Knoten, Strecken und schließlich auch Linien) her. Besondere Aufmerksamkeit erfordert neben der Struktur der Anbindungen („welche Zelle an welchen Knoten“) auch die Attributierung der Anbindungen (Länge, Zeit / Geschwindigkeit).

Entscheidend ist, dass jede Verkehrszelle über mindestens eine Anbindung zu einem (bedienten) Knoten verfügt, da sonst die für diese Verkehrszelle kodierte Verkehrsnachfrage nicht umgelegt werden könnte. Während in vielen Fällen eine Anbindung je Zelle ausreicht, wird es auch diverse Verkehrszellen geben, bei denen eine mehrfache Anbindung sinnvoll oder sogar erforderlich ist (einschließlich solcher Fälle, in denen ein „Bahnhof“ mittels mehrerer Knoten modelliert werden muss, z. B. München Hbf für den Fern- und Regionalverkehr und München Hbf (tief) für die S-Bahn). Weitere Anwendungsfälle sind Verkehrszellen, die von mehr als einer Bahnstrecke durchschnitten werden und daher an beide Strecken anzubinden sind. Weiterhin ist der Fall zu betrachten, dass es innerhalb einer Verkehrszelle einen Bahnhof gibt, an dem z. B. nur die S-Bahn und ggf. der Regionalverkehr hält, dass aber gleichzeitig ein überregional bedeutender Fernverkehrshalt sinnvoll erreichbar ist und als Zugangspunkt zum SPFV genutzt wird. Klassisches Beispiel ist hier der Halt „Bonn / Siegburg“ an der Schnellfahrstrecke Köln – Frankfurt. Dieser liegt nicht in der Stadt Bonn, dient dieser aber (neben dem Bahnhof Bonn Hbf) als zweiter Zugangspunkt zum SPFV. Dieser Zugang kann entweder über eine Aufnahme der entsprechenden Linien des Stadtverkehrs erfolgen oder über die Definition einer Zellgrenz-überschreitenden Anbindung. Letzteres wird auch als „extrazonale Anbindung“ bezeichnet, im Gegensatz zur intrazonalen Anbindung, bei der der angebundene Knoten innerhalb der Verkehrszelle liegt.

Die Definition der je Verkehrszelle anzubindenden Knoten darf nicht „willkürlich“ erfolgen, sondern folgt klaren Regeln. Dies gilt sowohl für die Auswahl des / der intrazonalen Anbindungsknoten (i. d. R. der aufkommensstärkste Bahnhof innerhalb der Verkehrszelle) als auch für die optionale Definition von extrazonalen Anbindungen. Im Inland erfolgt dieser Arbeitsschritt mit höherem Genauigkeitsgrad als im – insbesondere entfernteren – Ausland, wo auch die Netzdichte geringer und die Verkehrszelleneinteilung gröber ist. Jeder Anbindungs-Knoten bildet per Definition einen intermodalen Verknüpfungspunkt.

Die definierten Anbindungs-Datensätze waren mit den Attributen zu versehen, die ihren „Widerstand“ beschreiben. Dabei handelt es sich – wie bei den Bahn-Teilwegen – um die Komponenten Länge und Zeit. Erstere ist dabei als relevante Größe für die Abschätzung der Kosten des Zugangs geeignet (ÖPNV, Pkw). Bei beiden Größen ist weiterhin zu unterscheiden zwischen den Weg-Eigenschaften (Fahrzeit, Entfernung) und den sogenannten Terminal-Zuschlägen (Parken, Fußweg). Für beide Komponenten gilt, dass die Attribute als Mittelwert der entsprechenden Eigenschaften in den genutzten Verkehrsmitteln definiert werden. Die für diesen Mittelwert verwendete Gewichtung ist jedoch nicht einheitlich, sondern abhängig vom Raumstrukturtyp (Stadtzentrum, Stadtrand, ländlicher Raum) und von der jeweiligen Entfernung. Dabei gilt, dass der Anteil der nicht-motorisierten Verkehrsmittel im kurzen Entfernungsbereich überwiegt und mit zunehmender Entfernung zu Gunsten des ÖPNV und MIV abnimmt. Somit werden je Entfernungsbereich die zulässigen Zugangsverkehrsmittel definiert, mit einem Gewicht sowie einer anzusetzenden Geschwindigkeit versehen. Anhand der zugrundeliegenden (Netz-) Entfernung lässt sich damit eine Zu- / Abgangszeit für jeden Anbindungsdatensatz berechnen. Hinzu kommt dann noch die sogenannte Terminalzeit. Diese ist von der Größe des Bahnhofs und den dort herrschenden Bedingungen abhängig, insbesondere von der Verfügbarkeit und Bepreisung von Parkplätzen und der Weglänge zum Bahnsteig. Um hier nicht jeden (angebundenen) Bahnhof einzeln behandeln zu müssen, werden diese in Kategorien eingeteilt. Maßgeblich hierfür ist die Verfügbarkeit von Parkraum (ausreichend oder knapp?, kostenlos oder kostenpflichtig?). Bei den anderen Zugangs-Verkehrsmitteln (zu Fuß, Rad, Taxi, ÖPNV, on-demand oder Sharing-Angebote) gilt sinngemäß das gleiche, insbesondere ist hier der Weg zu berücksichtigen, der z. B. vom Busbahnhof am Bahnhofsvorplatz zum Bahnsteig zurückzulegen ist. Auch hier wird mit sinnvollen Kategorien gearbeitet. Die Betrachtung der Terminalzeiten ist insbesondere auch für die intermodalen Verknüpfungspunkte an den Flughäfen relevant (z. B. Zugang zum Flughafenbahnhof Düsseldorf deutlich unterschiedlich zwischen SPFV/SPNV und S-Bahn).

Am Ende des Erstellungsprozesses wurde sichergestellt (und im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft), dass jede Verkehrszelle (In- und Ausland) über mindestens eine Anbindung zu einem bedienten Knoten verfügt und dass ihre Attribute im plausiblen Bereich liegen (z. B. Abgleich der Länge mit der Luftlinienentfernung, Prüfung der Anbindungszeit und der sich ergebenden Geschwindigkeit mit entsprechenden Bandbreiten etc.). Auch im Rahmen der Netzeichung (Abgleich Umlegungsergebnisse und Zählwerte je Streckenabschnitt) wurde bei Abweichungen entsprechendes Augenmerk auf die definierten Anbindungen gelegt (fehlende oder überzählige Anbindungen, Anbindungs-Attribute).

2.2 Netzumlegungen sowie Wagen- und Zugbildungsprozess im Schienengüterverkehr

Im Gegensatz zum SPV liegen für den SGV keine konkreten unternehmensspezifischen Fahrpläne vor. Dies gilt auch für den kombinierten Verkehr. Hier verkehren die eingesetzten Züge zwar nach festen Fahrplänen, die sich jedoch anbieterspezifisch auch auf derselben Relation stark unterscheiden können, i. d. R. nicht öffentlich und verfügbar sind, und sich innerhalb eines Jahres mehrfach ändern können. Aufgrund der nicht verfügbaren Daten werden die umzulegenden SGV-Züge somit auf Basis der abzufahrenden Transportmengen abgebildet. Ausgehend von den in der Dimension Tonnen je Jahr ausgedrückten Nachfrageströmen erfolgt eine modellgestützte Wagen- und Zugbildung. Die Routenwahl und Umlegung der SGV-Züge erfolgt in Abhängigkeit der verfügbaren Trassenkapazitäten, welche sich unter Berücksichtigung der streckenseitigen Infrastrukturparameter und der Grundlast aus Zügen des SPV ergibt.

2.2.1 Wirtschaftliche Zugführung

Für die kapazitätsabhängigen Netzumlegungen des Schienengüterverkehrs wurde im Rahmen des Projektes das von der BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH[7] entwickelte Verfahren der Wirtschaftlichen Zugführung (WiZug) genutzt, welches erstmals bei der Entwicklung des ersten gesamtdeutschen Bundesverkehrswegeplans (BVWP 1992) eingesetzt wurde. Seither wurde es fortlaufend aktualisiert und methodisch erweitert. Neben der kapazitiven Leistungsfähigkeiten der Strecken werden bei der Wirtschaftlichen Zugführung auch spezifische Leistungsfähigkeiten von wichtigen Verkehrsknoten berücksichtigt.

Eingangsgröße für die Wirtschaftliche Zugführung sind die Verflechtungsmatrizen des Schienengüterverkehrs. Diese liegen aus dem Fachteil 2 der Verkehrsprognose 2040, der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose, vor (vgl. **Abbildung 2-5**). Die Verflechtungsmatrix enthält die aufbereiteten Transportmengen im Hauptlauf und im Zulauf zu See- und Binnenhäfen und wird räumlich nach den definierten Verkehrszellen unterschieden.

Ausgangspunkt der Netzumlegung sind die aus der Nachfrageprognose aufbereiteten bzw. prognostizierten Transportmengen des Schienengüterverkehrs. Bei Verkehren, die Teil einer intermodalen Transportkette sind, werden auch die intermodalen Verknüpfungspunkte übergeben, sodass solche Verkehre konsistent direkt an den korrespondierenden Netzpunkten des Schienennetzes eingespeist werden können.

---

[7] Die entsprechende verkehrswirtschaftswissenschaftliche Abteilung der BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH ist durch Ausgliederung und Umbenennung in die TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH übergegangen.

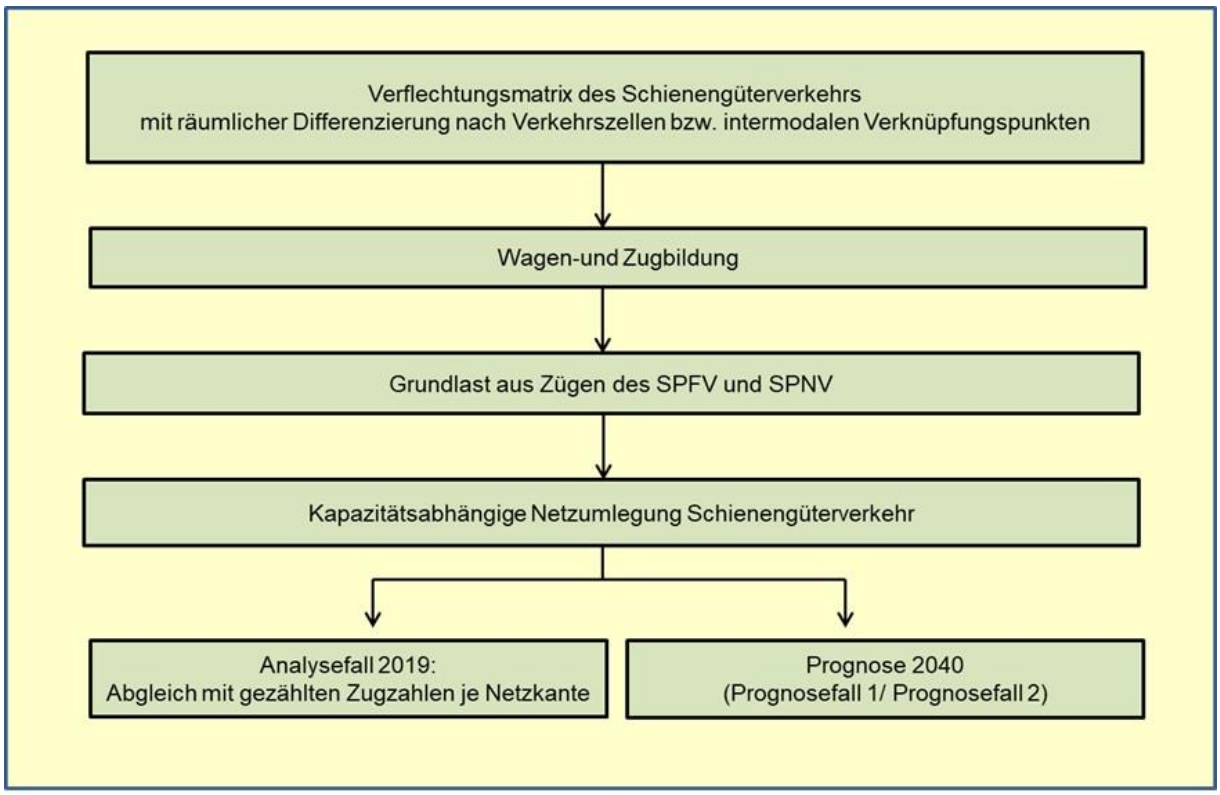

Abbildung 2-5 Einordnung der Netzumlegung des Schienengüterverkehrs in den Analyse- und Prognoseprozess

Zunächst erfolgt im Rahmen des Modells die sog. Wagenbildung. Hierzu werden die Schienenverkehre in beladene Wagen umgerechnet und über ein Fahrzeugmodell die notwendigen Leerwagenbewegungen abgeschätzt. Anschließend erfolgt die Zugbildung, in der die Wagen zu Zügen zusammengestellt werden und ein Fahrplan für den Schienengüterverkehr erstellt wird. Dabei ist für den Einzelwagenverkehr und den kombinierten Verkehr eine Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems durchzuführen.

Bei der Netzumlegung des Schienengüterverkehrs wird die Grundlast aus Zügen des SPFV und des SPNV berücksichtigt. Die Netzumlegung erfolgt kapazitätsabhängig; hierzu sind Leistungsfähigkeiten der Knoten und Strecken im Schienennetz zu attribuieren. Hierbei werden lastabhängige Wartezeiten in den Knoten und Strecken modelliert und in der Netzumlegung mitberücksichtigt.

Bei der Modellierung des Analysezustandes 2019 werden die Umlegungsergebnisse mit den je Netzkante von der DB Netz AG[8] bereitgestellten Belastungszahlen abgeglichen und kalibriert. Die Modellierung des Prognosezustandes 2040 der Verkehrsentwicklungsprognose erfolgt in einem ersten Iterationsschritt auf Basis der Hypothese der Engpassfreiheit der Verkehrsinfrastruktur. Anhand der unter dieser Hypothese prognostizierten Zugzahlen erfolgt in einem weiteren Schritt eine Anpassung der Transportmengen des SGV an die im Teilnetz Schiene 2040 verfügbaren Trassenkapazitäten.

2.2.2 Produktionssysteme

Aufgrund unterschiedlicher Produktionsregeln werden in der Simulation der Produktionsabläufe, d. h. der Wagen- und Zugbildung, grundsätzlich die Produktionssysteme

[8] Zum Zeitpunkt der Bearbeitung firmierte das Eisenbahninfrastrukturunternehmen noch unter dem Namen „DB Netz AG“. Seit Ende 2023 lautet der gültige Name „DB InfraGO AG“. Für die Zwecke der Berichtslegung wird durchgängig der Name DB Netz AG genutzt.

» Einzelwagenverkehr (EW),

» Ganzzugverkehr (GZ), in der Unterscheidung nach normalen Ganzzügen und schweren Ganzzügen (Beim Produktionssystem GZ ist anhand der Gütergruppe zwischen normalen und schweren Ganzzügen zu unterscheiden. Schweren Ganzzügen sind die Gütergruppen „Kohle; rohes Erdöl und Erdgas“ sowie „Erze“ zugeordnet, normalen Ganzzügen alle anderen Gütergruppen.),

» unbegleiteter kombinierter Verkehr (UKV) und

» Containerverkehr (maritimer KV)

» begleiteter kombinierter Verkehr (Rollende Landstraße, RoLa)

unterschieden. Sämtliche Parameter der Wagen- und Zugbildung, z. B. Angaben zu Musterwagen oder Zugbildungsregeln, können nach diesen Produktionssystemen differenziert werden. Bei Bedarf können neue Produktionssysteme mit eigenen Produktionsregeln eingeführt werden. Dies betrifft beispielsweise die Annahme überlanger Güterzüge auf speziellen Relationen für den Prognosehorizont 2040.

2.2.3 Wagenbildung

Ausgangspunkt der Wagenbildung sind die für das Analysejahr 2019 aufbereiteten bzw. für das Prognosejahr 2040 prognostizierten Transportmengen des Schienengüterverkehrs. Die Daten werden in folgender Differenzierung übergeben:

» Quell- und Zielzone (Seehäfen als eigene Verkehrszellen ausgewiesen)

» Güterbezeichnung (NST-2007[9], stellenweise verfeinert)

» Produktionssystem (EW, GZ, UKV, KV, RoLa)

» Transportaufkommen in Tonnen (t)

Im ersten Schritt der Wagenbildung sind die zonalen Nachfragemengen auf die Ebene der Bedienpunkte (einschließlich Knotenbahnhof (Kbf), Umschlagbahnhof (Ubf), Rangierbahnhof (Rbf bzw. Drehscheibe) des Netzmodells abzubilden. Hierzu ist jede Verkehrszelle systemspezifisch an einen oder mehrere Einspeisepunkte des Netzes angebunden. Über eine Bestwegsuche im Schienennetz kann dann für jede Quelle-Ziel-Relation und jedes Produktionssystem das Paar von Einspeisungspunkten ermittelt werden, welches die Transportzeit Quell-Zonenschwerpunkt → Quell-Einspeisungspunkt → Ziel-Einspeisungspunkt → Ziel-Zonenschwerpunkt minimiert.

Im zweiten Schritt sind die Nachfragemengen (Tonnen) in beladene Wagen umzurechnen. Dies erfolgt auf Basis von sogenannten Musterwagen, die je Produktionssystem und Gütergruppe vorzugeben sind und folgende Merkmale beinhalten:

» Mittlere Beladung (t)

» Eigengewicht (t)

» Länge (m)

» Anzahl Ladeeinheiten (nur für Produktionssystem UKV; differenziert nach Ladegrößen und KV-Profilen)

Über die mittlere Beladung und das Eigengewicht der Musterwagen lassen sich die Nachfragemengen direkt in beladene Wagen umrechnen.[10] Die Länge der Musterwagen sowie die Anzahl der Ladeeinheiten für den UKV ist zusätzlicher Input für die Zugbildung.

---

9 Eurostat: Standard Goods Nomenclature for Transport Statistics 2007 (Einheitliches Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik)

10 Dabei können auch Wagenfrequenzen kleiner 1 entstehen.

Im dritten und letzten Schritt der Wagenbildung werden die für ein Fahrzeugmodell notwendigen Leerwagenbewegungen abgeschätzt. Dabei gilt grundsätzlich die Regelung, dass Leerwagen in demjenigen Produktionssystem abgefahren werden, in dem sie produziert wurden. Eine Ausnahme hiervon bilden Wagen bestimmter Gütergruppen des Ganzzugverkehrs: Diese nehmen am Leerwagenausgleich des Einzelwagenverkehrs (EW) teil und werden dort abgefahren.

Beim Ganzzugverkehr – mit Ausnahme derjenigen Wagen, die am Leerwagenausgleich des EW teilnahmen – ergeben sich die Leerwagen prinzipiell durch Spiegeln der beladenen Wagen, d. h. Ganzzüge fahren zunächst beladen vom Quell- zum Zielort und dann leer wieder zurück. Im kombinierten Verkehr enthalten die Züge einen durchschnittlichen Leerwagenanteil, der in der Hauptverkehrsrichtung aus den Erfahrungen im Analysejahr bestimmt wird. Eine bestimmte Anzahl von Leerwagen wird somit sowohl in der Haupt- als auch in der Nebenverkehrsrichtung mitgeschleppt.

Beim Einzelwagenverkehr ist zu berücksichtigen, dass Leerwagen bis zu einem bestimmten Grad disponierbar und damit räumlich austauschbar sind. Falls also z. B. Leerwagen an einem bestimmten Bahnhof benötigt werden, können diese ggf. von einem „in der Nähe“ liegenden Bahnhof angefordert werden, falls sie dort nicht mehr gebraucht werden. Insgesamt stellt sich somit die Aufgabe, die Leerwagenbewegungen so zu disponieren, dass ein möglichst wirtschaftliches (d. h. kostenminimales) Ergebnis erzielt wird. Berücksichtigt man die zusätzlichen Nebenbedingungen, dass keine Leerwagenquellen oder –senken auftreten, so lässt sich die Disposition der Leerwagenbewegungen als ein lineares Optimierungsproblem formulieren:

(Optimierungskriterium) Minimiere die Kosten K für den Transport der Leerwagen. Es gilt:

$$K = \sum_{i,j} k_{i,j} * l_{i,j}$$

(Nebenbedingung 1) Die Anzahl der Leerwagen ist größer gleich Null:

$$\forall i, j : l_{i,j} \geq 0$$

(Nebenbedingung 2) Es treten keine Leerwagenquellen oder -senken auf, d. h. je Leerwagenausgleichsbereich ist die Gesamtzahl der einfahrenden Wagen gleich der Gesamtzahl der ausfahrenden Wagen:

$$\forall i : \sum_j (b_{j,i} + l_{j,i}) = \sum_j (b_{i,j} + l_{i,j})$$

Dabei bezeichnet:

i,j Index über die Leerwagenausgleichsbereiche (räumliche Aggregationsbereiche)

$b_{i,j}$ Anzahl der beladenen Wagen von Ausgleichsbereich i nach Ausgleichsbereich j

$l_{i,j}$ Anzahl der leeren Wagen von Ausgleichsbereich i nach Ausgleichsbereich j

K Gesamtkosten für den Transport der Leerwagen

$k_{i,j}$ Kosten für den Transport eines Leerwagens von Ausgleichsbereich i nach Ausgleichs-bereich j, über eine Bestwegumlegung im Schienennetz ermittelt

Die unbekannten Größen $l_{i,j}$ können nun mit bekannten Verfahren, z. B. dem Simplexalgorithmus, effizient bestimmt werden.

Bei den Kosten $k_{i,j}$ für den Transport der Leerwagen ist zu berücksichtigen, dass diese Kosten auch von der Anzahl der beladenen Wagen abhängen: Je mehr beladene Wagen und damit Züge verkehren, desto kostengünstiger ist es, Leerwagen durch Anhängen an die bestehenden Züge mit abzufahren. Die aus der Bestwegumlegung resultierenden Kosten werden deshalb wie folgt transformiert, α (≥ 0) stellt einen freien Parameter dar:

$$k_{i,j} \rightarrow k_{i,j} \bullet \exp(-\alpha \bullet b_{i,j})$$

Abbildung 2-6 zeigt beispielhaft den Funktionsverlauf dieser Kostentransformation für Parameterwerte α = 1, 2 und 3. Dabei wird deutlich, dass die Kosten für den Transport der Leerwagen mit steigender Zahl der beladenen Wagen zurückgehen und der Funktionsverlauf durch den zusätzlichen Parameter α gesteuert (kalibriert) werden kann.

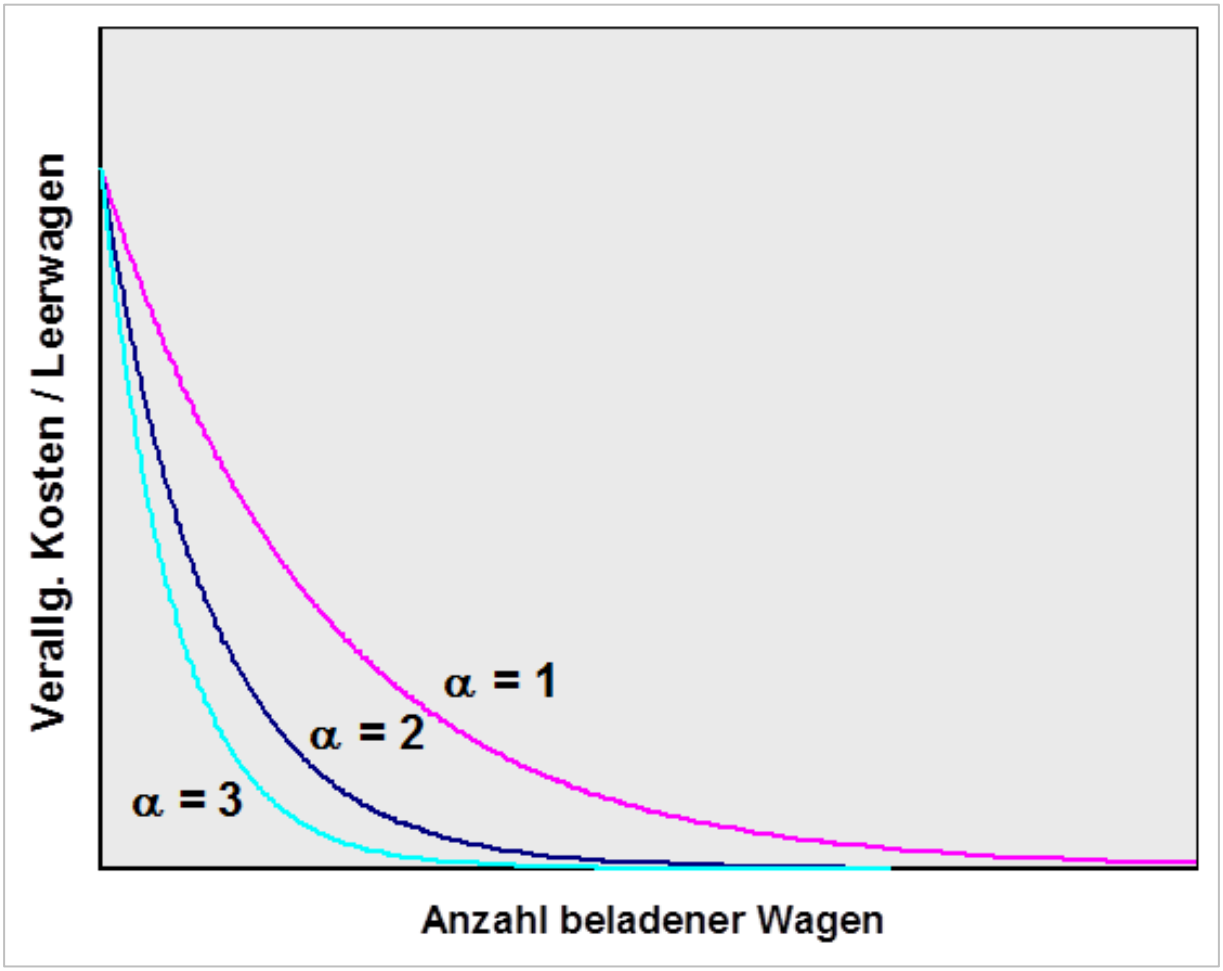

Abbildung 2-6 Transformation der Kosten für den Transport der Leerwagen

Da in der Praxis aufgrund zeitlicher Schwankungen des Wagenmaterials, unzureichender Kenntnis, fehlerhafter Disposition etc. eine vollständige Optimierung der Leerwagenströme kaum möglich ist, führt die Leerwagenbildung in der Regel zu niedrigeren Leerwagenanteilen als in der Praxis beobachtet. Deshalb erfolgt im letzten Schritt der Wagenbildung die Kalibrierung der Leerwagenanteile durch systemspezifische Leerwagenfaktoren auf ein vorgegebenes, im Analysejahr, bestimmtes Niveau. **Abbildung 2-7** zeigt das Prinzip dieser Niveauanpassung. Ausgangspunkt sind 100 beladene Wagen in Hinrichtung und 70 beladene Wagen in Rückrichtung. Aus dem linearen Dispositionsproblem resultieren 30 leere Wagen in Rückrichtung, beide Richtungen sind somit mit 100 Wagen ausgeglichen. Bei einem Leerwagenfaktor von 0,2 werden 20 % mehr Leerwagen erzeugt, also 30*0,2 gleich 6 Leerwagen. Diese werden auf beide Richtungen gleichmäßig verteilt, je Richtung entfallen also 3 zusätzliche Leerwagen.

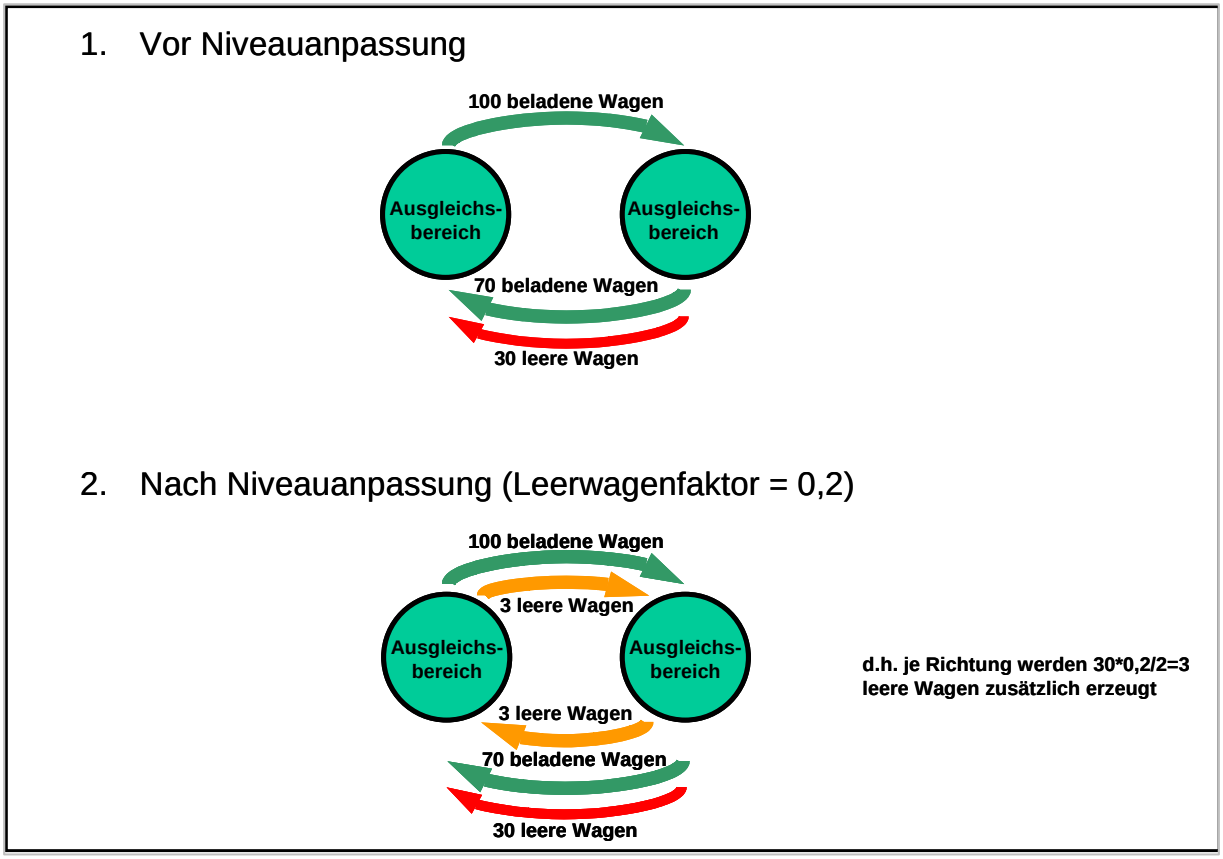

Abbildung 2-7 Kalibrierung der Leerwagenanteile

2.2.4 Netzwerkbahn

Analog dem Vorgehen in der Verkehrsprognose 2030 wird das Konzept der Netzwerkbahn berücksichtigt, welches die Produktionssysteme Ganzzug und Kombinierter Verkehr mit dem Produktionssystem des Einzelwagenverkehrs verknüpft. Die Produktionssysteme Schwerer Ganzzug und Rollende Landstraße bleiben von der Netzwerkbahn unberührt.

Auf Relationen, bei denen aufgrund der verfügbaren Mengen kein voller Zug im Ganzzugverkehr gebildet werden kann, wird die verfügbare Kapazität durch Mengen des Einzelwagenverkehrs ergänzt. Während Relationen mit ausreichender Tonnage weiterhin als Ganzzug gefahren werden, bietet sich für schwächere Relationen die Möglichkeit einer hohen Frequenz an Fahrten an, bspw. täglich, zu fahren und höhere Auslastungen zu erzielen.

Wie bei der Abstimmung mit der DB Cargo AG[11] zur Erarbeitung des Konzepts zur Implementierung der Netzwerkbahn bestimmt, gibt es systemspezifische Schwellwerte, deren Unterschreitung eine Überführung in die Netzwerkbahn nach sich ziehen.

Erreicht eine Relation im Ganzzugverkehr keine 200 Wagen je Richtung und Woche, bzw. im Kombinierten Verkehr keine 35 Wagen[12] je Richtung und Woche, so wird sie im Rahmen der Netzwerkbahn in das Produktionssystem des Einzelwagenverkehrs überführt. Für die Netzwerkbahn relevant sind hierbei nur diejenigen Relationen, die eine Transportweite von über 100 km besitzen und die je Relation und Tag mindestens fünf Wagen im bisherigen Einzelwagenverkehr aufweisen. Die Netzwerkbahn kann somit nur dort zur Anwendung kommen, wo eine gewisse Mindestentfernung sowie eine gewisse Mindesttonnage vorhanden ist.

---

[11] Die DB Cargo AG firmierte zur Zeit der Abstimmung als DB Schenker Rail GmbH bzw. DB Schenker Rail Deutschland AG

[12] Bei Nutzung eines im Rahmen der Eisenbahnverkehrsprognose 2040 unterstellten Langwagens von rund 34 m Länge und einer Stellplatzkapazität von bis zu 4 20-Fuß- bzw. 2 40-Fuß-Containern je Wagen

2.2.5 Zugbildung

Aufgabe der Zugbildung ist die Erstellung eines Fahrplans für den Schienengüterverkehr. Dabei sind zu berücksichtigen:

» Das geltende KV-/Rbf-Konzept (Standorte, Einzugsbereiche und Leistungsfähigkeiten der Zugbildungsanlagen)

» Produktionsregeln

» Restriktionen (z. B. maximale Zuglängen, die sich aus den nutzbaren Gleislängen der Zugbildungsanlagen ergeben)

» (Wunsch-)Abfahrtspegel der Verlader/Nachfrager

Da die Zugbildung ebenso wie die sich anschließende kapazitätsabhängige Netzumlegung auf Basis eines durchschnittlichen Werktages erfolgt, sind die aus der Wagenbildung resultierenden Jahresmengen zunächst auf Tageswerte umzurechnen. Hierzu ist die Zahl der Werktage je Produktionssystem festzulegen.

Zusätzlich zur Pegelung der Jahresmengen auf den Werktag ist eine Pegelung nach Tagesstunden und Tagesminuten notwendig. Dies erfolgt auf Basis von systemspezifischen Stundenpegeln (Wahrscheinlichkeit, dass die Wunschabfahrtszeit der Verlader/Nachfrager in der Tagesstunde liegt); für jeden Wagen wird dann auf Basis der Wahrscheinlichkeiten eine Tagesstunde ausgewählt. Die Tagespegel sind weiterhin nach Knotentypen differenziert und z. B. für Seehäfen und sonstige Einspeisepunkte unterschiedlich hinterlegt. Innerhalb der Tagesstunden wird die Tagesminute zufällig bestimmt, diese stellt die Wunschabfahrtszeit der Wagen/Nachfrage dar. Im Kombinierten Verkehr und im Verkehr der RoLa werden die Stundenpegel über eine gesonderte Abfrage der Fahrpläne der Terminals bestimmt, in den sonstigen Produktionssystemen basieren sie auf einer Erhebung bei bestimmenden EVU.

Ganzzüge fahren beladen direkt von Quelle zum Ziel und – falls die Leerwagen nicht am Leerwagenausgleich des Einzelwagenverkehrs teilnehmen – leer wieder zurück. Die Zugbildung ergibt sich deshalb direkt aus der Anzahl der beladenen Wagen zwischen den Einspeisepunkten im Netz und mittleren Auslastungen (bezogen auf Beladung und Länge) in der Differenzierung nach normalen und schweren Ganzzügen. Dabei können auch Zugfrequenzen kleiner 1 entstehen; solche Ganzzüge fahren dann nicht täglich. Ggf. werden Leerzüge in Gegenrichtung erzeugt. Die Abfahrtszeit der Ganzzüge ergibt sich aus den Stundenpegeln.

Auch im kombinierten Verkehr und bei der RoLa wird der Verkehr überwiegend als Quell-Ziel-Verbindung zwischen zwei KV-Terminals abgewickelt. Kleinere KV-Verkehre, bei denen eine einwöchige Verbindung zwischen zwei KV-Terminals nicht möglich ist, werden jedoch über größere und bedeutendere Hub-Terminals gesammelt und abgewickelt. Die Zuführung solcher Mengen erfolgt bei kleinen Verkehren richtungsbezogen zu den nächstgelegenen Hub-Terminals.

Beim Einzelwagenverkehr und kombinierten Verkehr stellt sich die Situation wesentlich komplexer dar, da Wagen dieser Produktionssysteme in der Regel mit mehr als einem Zug abgefahren werden und verschiedene Produktionsebenen unterschieden werden müssen:

» Rangierbahnhof/Drehscheibe (Rbf)

» Knotenpunktbahnhof (Kbf)

» Umstellbahnhof

» Bedienpunkt (BP)

Für den Einzelwagenverkehr erfolgt die Zugbildung auf Basis eines flexiblen Knotenpunktsystems, in der schrittweise die möglichen Verbindungen zwischen einer Quelle und einem Ziel hinsichtlich ihrer Umsetzungsfähigkeit geprüft werden. Dieses kann gemäß **Abbildung 2-8** in insgesamt 4 Phasen gegliedert werden:

» Phase 1: Ermittlung der Leitwege

» Phase 2: Einstellen der Wagen in Züge

» Phase 3: Ermitteln der Abfahrtszeiten der Züge

» Phase 4: Rückkoppelung von Phase 3 in Phase 1 zur Optimierung der Leitwege

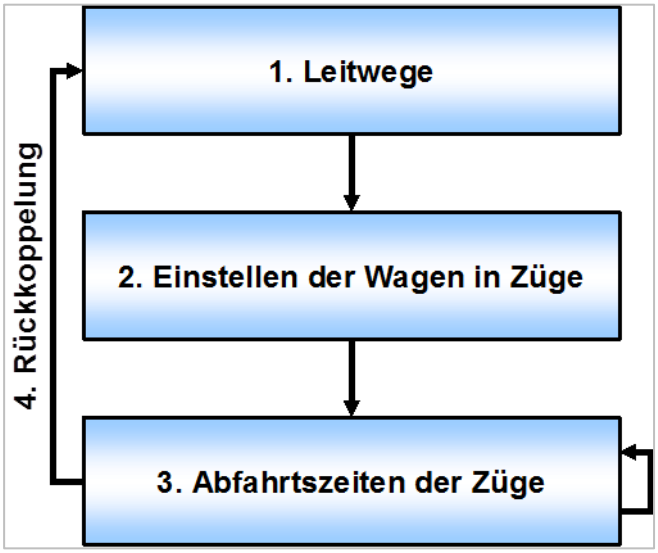

Abbildung 2-8 Phasen bei der Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems

Innerhalb von Phase 3 findet ebenfalls eine Rückkoppelung zur Optimierung des Fahrplans statt.

Phase 1: Ermittlung der Leitwege

In der ersten Phase der Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems werden system- und relationsspezifisch die Leitwege ermittelt, d. h. die optimale Abfolge Quell-Bedienpunkt → Kbf → Rbf → Rbf → Kbf → Ziel-Bedienpunkt für den EW. Damit wird für jeden Wagen festgelegt, in welchen Zugbildungsanlagen er – falls die Nachfrage nicht ausreicht, um den Wagen direkt abzufahren – umgestellt werden kann.

Die Ermittlung der Leitwege basiert auf den Einzugsbereichen der Zugbildungsanlagen. Diese legen fest, welche Kbf von welchen Bedienpunkten und welche Rbf/Drehscheiben von welchen Kbf angefahren werden können. In der Ermittlung der Leitwege wird über eine Bestwegsuche im unbelasteten Netz jedem Quelle-Ziel-Paar Bedienpunkt → Bedienpunkt bzw. Kbf → Kbf unter Berücksichtigung der Einzugsbereiche das optimale Paar Kbf → Kbf bzw. Rbf → Rbf/Drehscheibe bestimmt und als Teil des Leitweges angesetzt.

Phase 2: Einstellen der Wagen in Züge

Nach Ermittlung der Leitwege erfolgt das Einstellen der beladenen und leeren Wagen in Züge. Wie **Abbildung 2-9** zeigt, werden dabei insgesamt fünf Hierarchiestufen durchlaufen und sieben Zugtypen (Zugkennziffern) unterschieden:

» 1 = direkter Zug zwischen Bedienpunkten

» 2 = CB (Cargo Bedienfahrt) zwischen Bedienpunkt und Kbf

» 3 = IRC (InterRegio Cargo) zwischen Kbf

» 4 = RC (Regio Cargo) zwischen Kbf und eigenem Rbf

» 5 = IRC (InterRegio Cargo) zwischen Kbf und fremdem Rbf

» 6 = IRC (InterRegio Cargo) zwischen fremdem Rbf und Kbf

» 7 = IRC (InterRegio Cargo) zwischen Rbf

Beim Durchlaufen der Hierarchiestufen wird beginnend bei der obersten Stufe (direkter Zug zwischen Bedienpunkten) für jede Relation, sofern die erforderlichen Mengen vorhanden sind, ein maßgeblicher bzw. mehrere maßgebliche Züge gebildet (Zugkennziffern 1, 3, 5-7). Dabei werden sowohl beladene Wagen als auch Leerwagen berücksichtigt. Durch die Zugbildungsregeln nicht abfahrbare Restmengen werden an die nächste Hierarchiestufe übertragen. Restmengen der letzten Stufe werden, falls ein Auffangsystem vorhanden ist, diesem zugeschlagen[13]. Andernfalls werden unterausgelastete Züge gebildet. Züge im Zu- und Ablauf der maßgeblichen Züge (Zugkennziffern 2, 4) werden ebenfalls immer (d. h. ggf. auch unterausgelastet) gebildet, so dass grundsätzlich die gesamte Nachfrage abgefahren wird.

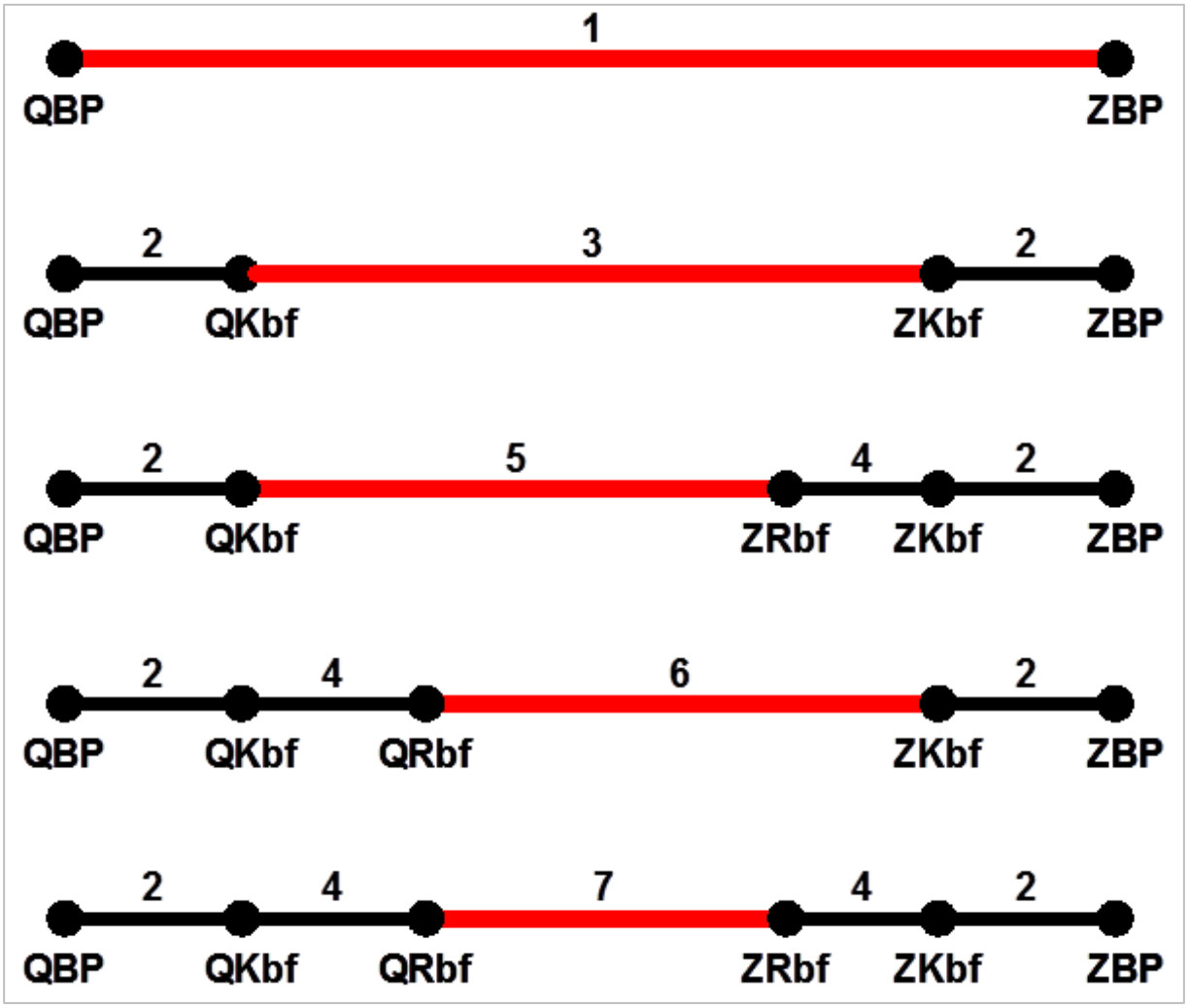

Abbildung 2-9 Hierarchiestufen bei der Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems

Maßgebliche Züge werden immer dann gebildet, wenn genügend Menge auf der jeweiligen Quelle-Ziel-Relation (QZ-Relation) vorhanden ist. Zusätzlich sind bei allen Zügen, d. h. maßgebliche Züge und Züge

13 Falls Auffangsysteme definiert sind, müssen die Produktionssysteme in einer bestimmten Reihenfolge abgearbeitet werden.

im Zu- und Ablauf, Obergrenzen bezüglich Länge und Gewicht der Züge einzuhalten. Hierzu ist systemspezifisch jeder Zugkennziffer ein Musterzug zugeordnet, der neben physikalischen Angaben des Zuges (Länge und Gewicht der Lok) die Zugbildungsregeln auf Basis von Maximal- und Minimalauslastungen jeweils für Länge und Gewicht des Zuges beinhaltet.

Für jeden Musterzug sind also vorgegeben:

» Länge und Gewicht der Lok

» minimale und maximale Zuglänge

» minimales und maximales Zuggewicht

Zudem sind aus der Wagenbildung für jeden Wagen

» die Wagenlänge,

» das Eigengewicht und

» das Gewicht der Beladung

bekannt

Damit ein maßgeblicher Zug gebildet werden kann, muss mindestens eine der folgenden beiden Kriterien erfüllt sein:

» Summe der Wagenlängen + Loklänge ≥ minimale Zuglänge

» Summe der Wagengewichte + Lokgewicht ≥ minimales Zuggewicht

Die Wagengewichte beinhalten dabei das Eigengewicht sowie das Gewicht der Ladung.

Die maximale Länge und das maximale Gewicht eines Zuges hängen zudem von der bedienten Bahnhof-Bahnhof-Relation und dem gewählten Laufweg (Bestweg) ab, der aus der vorgelagerten Ermittlung der Leitwege für jede Relation bekannt ist. Sie entsprechen dem Minimum aus

» der Maximallänge bzw. dem Maximalgewicht des Musterzugs,

» der zulässigen Maximallänge bzw. dem zulässigen Maximalgewicht auf den Strecken der gewählten Route,

» der maximalen Nutzlänge der Gleise bei Ausfahrt und Einfahrt des Zuges aus einer bzw. in eine Zugbildungsanlage.

Die Frequenz eines Zuges beträgt zunächst immer eins; d. h. der gebildete Zug verkehrt – unabhängig von seiner Auslastung – täglich. Um auch nicht täglich verkehrende Züge modellieren zu können – dies gilt speziell für den kombinierten Verkehr – kann je Musterzug zusätzlich eine sog. Standardlänge vorgegeben werden.

Für Züge mit geringerer Länge als der Standardlänge erfolgt dann eine Frequenzanpassung wie folgt:

Frequenz des Zuges = Länge des Zuges / Standardlänge

Bei einer Zuglänge, die z. B. nur halb so groß ist wie die Standardlänge, wird die Frequenz des Zuges also auf den Wert 0,5 gesetzt und der Zug würde in diesem Fall nur jeden zweiten Tag verkehren. Für den UKV wird hierbei eine Mindestfrequenz von 1/6 gefordert, um Mindestanforderungen an die

Auslastung und Wirtschaftlichkeit der Verkehre zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass die entsprechende KV-Relation mindestens einmal wöchentlich bedient wird.

Im letzten Schritt des Stufenprozesses zur Simulation des flexiblen Knotenpunktsystems sind die noch verbleibenden Restmengen – sofern kein Auffangsystem definiert ist - im „starren“ Knotenpunktsystem zwischen den Rangierbahnhöfen/Drehscheiben abzufahren. Dabei werden für alle Rbf/Drehscheibe–Rbf/Drehscheibe-Relationen, bei denen die Wagenmenge das erforderliche Auslastungsminimum überschreitet, Direktzüge zwischen den Rangierbahnhöfen/Drehscheiben gebildet und die Wagen entsprechend in diese eingestellt. Aus diesen Direktverbindungen zwischen den Rangierbahnhöfen/Drehscheiben wird dann ein neues Netz mit den Streckeneigenschaften Entfernung, Fahrzeit und Frequenz gebildet. Anschließend erfolgt in diesem neuen Netz eine Bestwegsuche für all diejenigen Wagen, für die sich keine Direktverbindung gelohnt hat – solche Wagen werden also ein- oder mehrfach im Fernverkehr eingestellt[14]. Eventuell muss das so gebildete Netz zwischen den Rangierbahnhöfen/Drehscheiben iterativ um neue Direktverbindungen ergänzt werden.

Unter Fahrzeit wird die Zeit für das Zurücklegen der Strecke zwischen zwei Punkten bzw. Knoten verstanden. Hiervon zu unterscheiden ist die gesamte Transportzeit eines Verkehrs, die auch die Behandlungs- und Aufenthaltszeiten in den Güterverkehrsanlagen (z. B. in den Rangierterminals) sowie die Umschlagszeiten an dem Quell- und Zielbedienpunkt berücksichtigt. Diese Zeiten werden zusätzlich in Form von pauschalen Zuschlägen erfasst. Durch die Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) gehen wir für den Prognosezeitraum von einer Reduzierung der Behandlungszeiten in den Güterverkehrsanlagen um rund 20 % aus.

Phase 3: Ermitteln der Abfahrtszeiten der Züge

Nach Einstellen der Wagen in die Züge werden die Abfahrtszeiten der Züge festgelegt: Dies erfolgt zunächst auf Basis der über die Stundenpegel festgelegten (Wunsch-)Abfahrtszeiten der Wagen. Da mit einem durchschnittlichen Werktag gerechnet wird, kann nicht einfach die zeitlich letzte Abfahrtszeit der Wagen als Abfahrtszeit der Züge gewählt werden. Stattdessen wird über ein Optimierungsverfahren die Abfahrtszeit eines Zuges jeweils minutenscharf so bestimmt, dass die Summe der Wartezeiten der Wagen auf Abfahrt – d. h. die Summe der Differenzen „Abfahrtszeit des Zuges“ minus „Wunschabfahrtszeit der Wagen“ – minimiert wird. Ggf. müssen Wagen auf die Abfahrt am nächsten Tag warten. Zusätzlich wird eine fixe, lastunabhängige Einstellzeit der Wagen in die Züge berücksichtigt.

Bei Wagen, die in Zugbildungsanlagen zu neuen Zügen zusammengestellt werden, kann ein Wagen erst dann wieder abgefahren werden, wenn er aus dem einfahrenden Zug ausgestellt und in den abfahrenden Zug eingestellt wurde. Für jeden Wagen ist deshalb die frühestmögliche Abfahrtszeit aus der Zugbildungsanlage zu ermitteln. Diese ergibt sich wie folgt:

Frühestmögliche Abfahrtszeit	=	Ankunftszeit des einfahrenden Zuges
	+	fixe, lastunabhängige Ausstellzeit des Wagens
	+	lastabhängige Umstellzeit des Wagens
	+	fixe, lastunabhängige Einstellzeit des Wagens

Die Abfahrtszeit des ausfahrenden Zuges ergibt sich dann wie oben dargestellt durch das Optimierungsverfahren zur Minimierung der Summe der Wartezeiten der Wagen.

[14] Die maximal zulässige Anzahl von Fern-Fern-Umstellungen kann systemspezifisch vorgegeben werden.

Zur Bestimmung der lastabhängigen Umstellzeiten der Wagen sind je Zugbildungsanlage folgende Angaben notwendig:

» Rangierpause ja/nein, differenziert nach Stundengruppen

» Leistungsfähigkeit, differenziert nach Stundengruppen

Insgesamt werden fünf Stundengruppen unterschieden, die flexibel definierbar sind. Die Leistungsfähigkeiten werden in der Einheit Wagen pro Stunde für Kbf / Rbf / Drehscheibe vorgegeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein gewisser Anteil der Wagen aufgrund belegter Richtungs- bzw. Ausfahrgleise mehrfach über den Ablaufberg geschoben werden muss und dass auch innerhalb einer Stundengruppe Pausen stattfinden können. Beides reduziert die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Zugbildungsanlage.

Die Ermittlung der Umstellzeiten der Wagen erfolgt über ein vereinfachtes deterministisches Modell. Zunächst sind eventuelle Rangierpausen zu berücksichtigen; betroffene Wagen warten bis zum Ende der Rangierpause auf Behandlung. Anschließend werden die Wagen in der zeitlichen Reihenfolge ihres Eintreffens in der Zugbildungsanlage abgearbeitet. Überzählige Wagen, die in einer Tagesstunde aufgrund der begrenzten Leistungsfähigkeit des Ablaufberges nicht abgedrückt werden können, warten bis zum Anfang der nächsten Tagesstunde. Können sie dort wiederum nicht abgedrückt werden, warten sie bis zum Anfang der übernächsten Tagesstunde etc.

Da die auf diese Weise ermittelten Abfahrtszeiten der ausgehenden Züge auch die Ankunftszeiten der einfahrenden Züge und damit die stundengruppenspezifische Belastung der Zugbildungsanlagen beeinflussen, findet eine Rückkoppelung innerhalb von Phase 3 bei der Zugbildung statt: Die Abfahrtszeiten der Züge werden iterativ so lange angepasst, bis ein weitgehend stabiles und optimiertes Ergebnis vorliegt.

Phase 4: Rückkoppelung von Phase 3 in Phase 1 zur Optimierung der Leitwege

Da zu Beginn der Zugbildung die resultierenden Auslastungen der Zugbildungsanlagen noch nicht bekannt sind, werden die Leitwege in Phase 1 zunächst unter der Annahme unbegrenzter Kapazitäten ermittelt. Dies hat jedoch zur Folge, dass nach Zugbildung einzelne Zugbildungsanlagen deutlich überlastet sein können, obwohl andere „alternative“ Zugbildungsanlagen noch freie Kapazitäten aufweisen. Aus diesem Grunde findet in Phase 4 der Zugbildung eine Rückkoppelung in Phase 1 statt. Hierzu wird die Zugbildung mehrfach durchlaufen und in der Ermittlung der Leitwege jeweils je Zugbildungsanlage eine mittlere lastabhängige Umstellzeit der Wagen berücksichtigt. Die mittleren Umstellzeiten werden dabei in der ersten Iteration der Zugbildung auf Null gesetzt und dann am Ende von Phase 3 aus den Umstellzeiten der Wagen ermittelt. Ergebnis der Rückkoppelung ist, dass zuvor überlastete Zugbildungsanlagen in der nächsten Iteration – soweit möglich – gemieden werden und stattdessen alternative Zugbildungsanlagen angefahren werden, insgesamt also eine Optimierung des gesamten Produktionsprozesses erreicht wird.

2.2.6 Kapazitätsabhängige Netzumlegung

Die kapazitätsabhängige Netzumlegung des SGV erfolgt mit dem Verfahren der Wirtschaftlichen Zugführung (WiZug). Hier werden neben den Leistungsfähigkeiten der Strecken insbesondere auch die Leistungsfähigkeiten der Knoten mitberücksichtigt.

Ausgangspunkt der Wirtschaftlichen Zugführung ist das für jeden Fall bzw. Szenario aufgebaute Schienennetz sowie die Grundlast aus Personenfern- und Personennahverkehrszügen. Anschließend werden die in der Zugbildung gebildeten Güterzüge in einer definierten Reihenfolge Zug für Zug auf das Schienennetz umgelegt. Bewährt hat sich dabei ein mehrstufiges Verfahren:

» Zuerst werden die Züge des Systems „Schwerer Ganzzug“ mit höchster Priorität umgelegt, da es sich hier um Montanverkehre mit Kohle und Erzen handelt, welche essentiell für die

Funktionsfähigkeit der deutschen Industrie sind und daher unter allen Umständen bestmöglich und störungsfrei durchs Netz zu befördern sind.

» Empirische Untersuchungen haben ergeben, dass das Schienennetz dann am besten ausgelastet wird, wenn zunächst die Zubringerzüge zwischen Bedienpunkt und Knotenpunktbahnhof sowie zwischen Knoten-/Umstellbahnhof und eigenem Rangierbahnhof/ Drehscheibe und erst danach die sonstigen Züge umgelegt werden. Wegen der relativ geringen Laufweite und der räumlichen Lage der Zugbildungsanlagen stehen Zubringerzügen in der Regel keine oder nur geringfügige Umwegmöglichkeiten zur Verfügung. Durch die vorrangige Umlegung wird sichergestellt, dass die Zubringerzüge bei zunehmender Netzbelastung ihre optimalen Wege weitgehend beibehalten und nicht auf extrem weite Umleitungen geführt werden.

» Ansonsten erfolgen die Reihung und Umlegung der Züge absteigend nach der Zuglänge. Die Zuglänge dient dabei als einfach zu handhabendes Kriterium für die Wirtschaftlichkeit eines Zuges. Zügen des Kombinierten Verkehrs wird auch hier eine höhere Priorität zugewiesen, da sie im Grundsatz über fixe Fahrpläne analog dem Personenverkehr verfügen. Es folgen gleichrangig die sonstigen Züge des Einzelwagenverkehrs, sowie die herkömmlichen Ganzzugverkehre.

Die Umlegung selbst erfolgt für jeden Güterzug mittels einer Bestwegroutensuche im mit bereits umgelegten Zügen belasteten Schienennetz. Zu berücksichtigen sind dabei zunächst

» Fahrverbote auf Strecken (Von-Knoten → Nach-Knoten) und in Knoten (Von-Knoten → Über-Knoten → Nach-Knoten) sowie

» streckenspezifische maximale Zuglängen und Zuggewichte

» streckenspezifische maximalen KV-Profile (für Züge mit intermodalen Ladeeinheiten)

» regionale Einschränkungen auf Strecken mit eingeschränkter Streckenklasse

Unter den zulässigen Routen ist im Rahmen der Bestwegroutensuche jeweils diejenige Route R zu ermitteln, welche die generalisierten Kosten GK_R minimiert. Diese setzen sich aus Zeit- und Kostenkomponenten zusammen:

$$GK_R = t_R + \gamma\, TP_R$$

Dabei bezeichnet:

GK_R	Generalisierte Kosten der Route R
t_R	Fahrzeit des Zuges auf der Route R (in Minuten)
TP_R	Summe der Trassenpreise auf der Route R (in Euro/Zug)[15]
γ	Gewichtung der Trassenpreise für die Routensuche

Während sich der Trassenpreis TP_R einfach durch Summation der an den Strecken der Route hinterlegten Trassenpreisen ergibt, sind bei der Fahrzeit t_R verschiedene Zeitkomponenten einzubeziehen:

» Abbiegewiderstände (Von-Strecke → Nach-Strecke)

» Traktionswechselzeiten

» Streckenspezifische planmäßige Fahrzeiten, differenziert nach schnellen und langsamen Güterzügen

» Auf Strecken und in Knoten aufgrund beschränkter Kapazitäten entstehende lastabhängige Wartezeiten

---

15 Im aktuellen Trassenpreissystem, bei der die Strecken gleich bepreist werden, spielt diese Komponente keine Rolle mehr, der Wert γ wird gleich 1 gesetzt.

Nach Ermittlung der Bestwegroute R werden entlang der Route die Kanten- und Knotenbelastungen angepasst und die in den Strecken und Knoten entstehenden lastabhängigen Wartezeiten für die Umlegung der nachfolgenden Züge neu berechnet. Die Netzumlegung erfolgt also immer unter Berücksichtigung der Netzbelastung bereits umgelegter SGV-Züge sowie der Grundlast aus SPV-Zügen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass bei zunehmender Netzbelastung und damit einhergehenden Engpässen Züge sukzessive auf Alternativrouten umgelegt werden und somit eine gleichmäßige und wirtschaftlich optimale Netzumlegung erzielt wird.

2.2.6.1 Berücksichtigung von Tageszeitscheiben

Die Aufgliederung der Netzbelastung nach Zeitscheiben erlaubt die Differenzierung der Netzbelastung nach Hauptverkehrszeiten, Nebenverkehrszeiten und Schwachlastzeiten im Tagesverlauf mit ihren sehr unterschiedlichen Mischungsverhältnissen und Leistungsfähigkeiten. So verkehrt der schnelle Personenfernverkehr weitgehend gleichmäßig in der Tagesbetriebszeit mit deutlicher Ausdünnung in der Nacht. Der Nahverkehr weist erhebliche Spitzen zur Berufsverkehrszeit, ebenfalls mit deutlich schwächerem Nachtverkehr auf. Langlaufende Güterzüge verkehren verstärkt nachts, der Sammel- und Verteilverkehr deckt sich jedoch zeitlich zum Teil mit Spitzen des Nahverkehrs. Die Kumulation dieser Effekte führt notwendigerweise zu deutlich unterschiedlichen Belastungslagen in einzelnen Zeitabschnitten sowohl in der quantitativen Höhe als auch in seiner qualitativen Zusammensetzung nach Fahrgeschwindigkeiten.

Im Verfahren der Wirtschaftlichen Zugführung wird deshalb nach fünf Zeitscheiben pro Tag differenziert. Diese sind so definiert, dass dadurch jeweils die bereits beschriebenen Hauptverkehrszeiten abgedeckt sind und jede Zeitscheibe dadurch einen eigenen Charakter hat:

Zeitscheibe 1:	06.00 Uhr bis 09.00 Uhr
Zeitscheibe 2:	09.00 Uhr bis 16.00 Uhr
Zeitscheibe 3:	16.00 Uhr bis 19.00 Uhr
Zeitscheibe 4:	19.00 Uhr bis 22:00 Uhr
Zeitscheibe 5:	22:00 Uhr bis 06:00 Uhr

Diese Zeitscheibendefinition entspricht den Anforderungen der Richtlinie zur Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)[16]. Da die Leistungsfähigkeiten der Strecken insbesondere auch vom Mischungsverhältnis aus schnellen und langsamen Zügen abhängen, erfolgt die Modellierung des Leistungsverhaltens der Strecken nach Zeitscheiben getrennt. Die Differenzierung nach Zeitscheiben erlaubt darüber hinaus das Sperren von Strecken für einzelne Zeitscheiben, so kann z. B. für den Güterverkehr eine Strecke tagsüber gesperrt und nur nachts geöffnet werden. Gleiches gilt für nach Zeitscheiben unterschiedliche Vorrangregelungen

2.2.6.2 Modellierung des Leistungsverhaltens der Strecken

Die Modellierung des Leistungsverhaltens der Strecken erfolgt im Verfahren der Wirtschaftlichen Zugführung auf Basis eines vom Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen (VIA) entwickelten analytischen Warteschlangenansatzes. Dieses in WiZug implementierte Verfahren ist insoweit zum Verfahren STRELE konsistent, als beide Verfahren die sogenannte Mindestzugfolgezeit z_{ij} als Parameter für die Bedienungszeit verwenden und die Ermittlung der außerplanmäßigen Wartezeiten (Verspätungen) mit der identischen Formel (STRELE-Formel nach Schwanhäußer) erfolgt.

---

16 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03), Berlin, 2014

Das implementierte Verfahren zur Modellierung des Leistungsverhaltens der Strecken ist ausführlich in einem Methodenbuch[17] beschrieben. Hierbei wird hinsichtlich der Leit- und Sicherungssysteme unterstellt, dass das Leistungsverhalten von ETCS Level 1 (European Train Control System) demjenigen der Punktförmigen Zugbeeinflussung (PZB) und das von ETCS Level 2 demjenigen der Linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) mit Hochleistungsblock gemäß Methodenhandbuch entspricht. Das Streckenmodell findet hierbei lediglich beim Schienennetz in Deutschland (Eisenbahnen des Bundes und nichtbundeseigene Eisenbahnen) Anwendung, für Auslandsstrecken wird kein Streckenmodell genutzt. Somit werden Streckenleistungsfähigkeiten nur auf Streckenabschnitten in Deutschland ermittelt.

2.2.6.3 Mindestzugfolgezeit

Die Mindestzugfolgezeit ist der zeitliche Abstand, in dem zwei Züge auf einem Abschnitt folgen können, ohne sich in ihrem Lauf zu behindern. Die Ermittlung der Mindestzugfolgezeiten erfolgt anhand von Sperrzeitentreppen, die sich aus den Sperrzeiten der Blockabschnitte ergeben.

Die Sperrzeit ist die Zeit, die ein Blockabschnitt durch eine Zugfahrt belegt ist. Neben der physikalischen Belegung durch den Zug (Fahrzeit) sind die Annäherungs- und Räumfahrzeit, die Fahrstraßenbilde- und Fahrstraßenauflösezeit sowie die Sichtzeit zu berücksichtigen:

» Die Fahrzeit ist jene Zeit, in der sich der Zug in dem Blockabschnitt befindet.

» Die Annäherungsfahrzeit ist die Zeit, die der Zug für das Durchfahren seines Bremsweges bei ungebremster Fahrt benötigt.

» Bei der Räumfahrzeit handelt es sich um die Zeit, die vergeht bis der Zug nach Vorbeifahrt mit der Zugspitze am Hauptsignal den Block wieder freigibt. Dafür muss der Zug mit seinem Zugende die Zugschlussstelle, die sich im Abstand des Durchrutschwegs hinter dem Hauptsignal befindet, überfahren.

» Die Fahrstraßenbilde- und Fahrstraßenauflösezeiten sind die Zeiten, die benötigt werden, um die Fahrstraße einzustellen und aufzulösen. Sie sind von der Stellwerkstechnik abhängig.

» Die Sichtzeit entspricht der Zeit, die der Triebfahrzeugführer für die optische Wahrnehmung des Vorsignals benötigt. Ist die Strecke mit Linienzugbeeinflussung (LZB) bzw. European Train Control System Level 2 (ETCS L2) ausgerüstet, so entfällt bei geeignetem Rollmaterial des Zuges diese Zeitkomponente, da der Treibfahrzeugführer nicht die Information des Vorsignals benötigt, sondern die Signalisierung direkt im Führerstand erfolgt.

Graphisch lässt sich die Sperrzeit anhand eines Zeit-Weg-Diagramms anschaulich darstellen. Die Sperrzeitentreppe eines Zuges setzt sich aus der Aneinanderreihung der einzelnen Sperrzeitenblöcke zusammen (siehe **Abbildung 2-10**). Zur Bestimmung der Mindestzugfolgezeit werden die Sperrzeitentreppen zweier Züge so dicht wie möglich aneinandergeschoben, so dass sich die Sperrzeitentreppen gerade berühren. Die Mindestzugfolgezeit z_{ij} ergibt sich aus der Zeit zwischen dem Beginn der Sperrzeitentreppe des vorlaufenden Zuges i und dem Beginn der Sperrzeitentreppe des nachlaufenden Zuges j im ersten gemeinsam befahrenen Abschnitt. Die Mindestzugfolgezeit ist somit nicht für einzelne Züge, sondern nur für Zugfolgefälle definiert.

---

17 Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA), Weiterentwicklung der belastungsabhängigen Wartezeitfunktion der Strecken in WiZug, Methodenbuch, Aachen 2003.

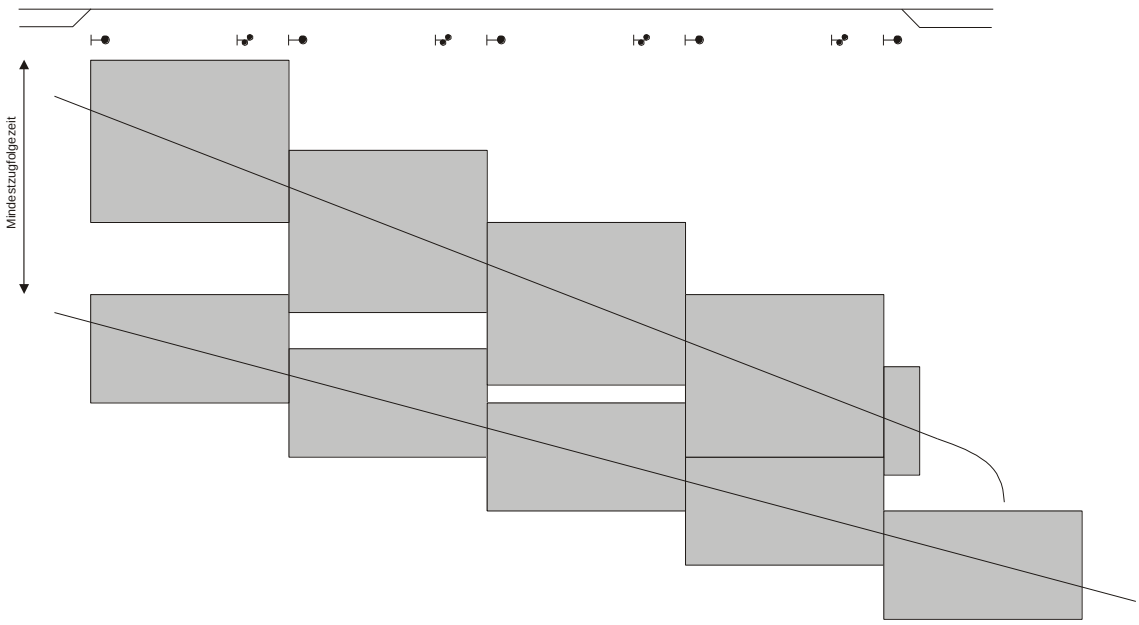

Abbildung 2-10 Sperrzeitentreppe und Mindestzugfolgezeit

2.2.6.3.1 Berechnung der Mindestzugfolgezeiten

Inputgrößen für die Berechnung der Mindestzugfolgezeiten z_{ij} sind Streckenparameter und Zugeigenschaften:

» Streckenparameter:

- Streckenlänge
- Anzahl der Gleise
- Abstand der Überholungsbahnhöfe
- Blockabschnittslänge
- Zugsicherungssysteme
- Stellwerkstechnik
- GV-Vorrangstrecke

» Zugeigenschaften:

- Fahrzeit
- Länge des Zuges
- Zugsicherungssysteme
- Bremsbeschleunigung

Bei der Berechnung der Mindestzugfolgezeiten sind drei Zugfolgefälle zu unterscheiden:

1. Der vorausfahrende Zug i und der nachfolgende Zug j sind gleichschnell
2. Der vorausfahrende Zug i ist schneller als der nachfolgende Zug j
3. Der vorausfahrende Zug i ist langsamer als der nachfolgende Zug j

Zusätzlich müssen bei eingleisigen Strecken Mindestzugfolgezeiten für das Kreuzen berechnet werden. Auf mehrgleisigen Strecken ermittelt sich die Mindestzugfolgezeit zij bei gleichschnellen Zügen (1. Zugfolgefall) wie folgt:

$$z_{ij} = t_{fb} + t_{aj} + t_{sj} + t_{fi} + t_{ri} + t_{fa}$$

mit:

t_{fb} Fahrstraßenbildezeit. Bei mechanischen Stellwerken werden 0,85 Minuten, ansonsten 0,15 Minuten angenommen.

t_{aj} Annäherungsfahrzeit (von Zug j). Sind Zug und Strecke nicht mit LZB / ETCS L2 ausgerüstet, so ist der Bremsweg gleich dem Vorsignalabstand, unabhängig von der Zuggeschwindigkeit. Der Vorsignalabstand wird zu 1000 Metern angenommen. Ist LZB / ETCS L2 vorhanden, so wird der tatsächliche Bremsweg berechnet.

t_{sj} Sichtzeit (von Zug j). Die Sichtzeit wird zu 0,2 Minuten angenommen. Ist der Zug und die Strecke mit LZB / ETCS L2 ausgerüstet, so entfällt diese Zeitkomponente, da der Treibfahrzeugführer nicht die Information des Vorsignals benötigt, sondern die Signalisierung direkt im Führerstand erfolgt.

t_{fi} Fahrzeit (von Zug i). Die Fahrzeit ergibt sich aus dem Quotienten von Blocklänge und Geschwindigkeit des Zuges.

t_{ri} Räumfahrzeit (von Zug i). Die Räumfahrzeit ergibt sich aus dem Quotienten von Zuglänge plus Länge des Durchrutschweges und Geschwindigkeit des Zuges. Der Durch-rutschweg wird mit 200 Metern angenommen.

t_{fa} Fahrstraßenauflösezeit. Bei mechanischen Stellwerken werden 0,4 Minuten, ansonsten 0,05 Minuten angenommen.

Analog erfolgt die Ermittlung der Mindestzugfolgezeiten für die anderen Zugfolgefälle und für das Kreuzen auf eingleisigen Strecken (vgl. Methodenbuch).

2.2.6.3.2 Berechnung der Wartezeiten

Die Berechnung der Wartezeiten erfolgt je Zeitscheibe getrennt. Inputparameter sind:

» Länge der Strecke

» Matrix der Mindestzugfolgezeiten

» Vorrangregelungen (Ränge)

» Mittlere Einbruchsverspätungen der verspäteten Züge in Minuten

» Wahrscheinlichkeiten einer Einbruchsverspätung

» Fahrtenvektor (Züge)

» Länge der Zeitscheibe in Minuten

Die Berechnung der Wartezeiten erfolgt differenziert nach planmäßigen Wartezeiten (Einfädeln und Überholung) und außerplanmäßigen Wartezeiten (Verspätungen). Anwendung finden dabei folgende Algorithmen:

» Planmäßige Wartezeiten: Rechenalgorithmus nach Wakob[18]

» Außerplanmäßige Wartezeiten: STRELE-Formel nach Schwanhäußer [19]

Für Details verweisen wir auf das beim BMDV vorliegende Methodenhandbuch.

Der prinzipielle Verlauf der resultierenden Wartezeitfunktionen ist in **Abbildung 2-11** dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass die Wartezeiten pro Zug mit zunehmender Zugzahl ansteigen und eine Polstelle vorliegt. Die Polstelle entspricht dabei dem Belegungsgrad 1,0.

---

[18] Wakob H., Ableitung eines generellen Wartemodells zur Ermittlung der planmäßigen Wartezeit im Eisenbahnbetrieb unter besonderen Berücksichtigung der Aspekte der Leistungsfähigkeit und der Anlagenbelastung, Dissertation, Veröffentlichung des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen, Heft 36 (1985)

[19] Schwannhäußer, W., Schultze, K.: Ermittlung von Qualitätsmaßstäben für die Berechnung der Leistungsfähigkeit eines Streckenabschnittes und Entwicklung eines Rechenverfahrens zur Ermittlung von Endverspätungen. Forschungsarbeit für die Deutsche Bahn AG 1982, unveröffentlicht

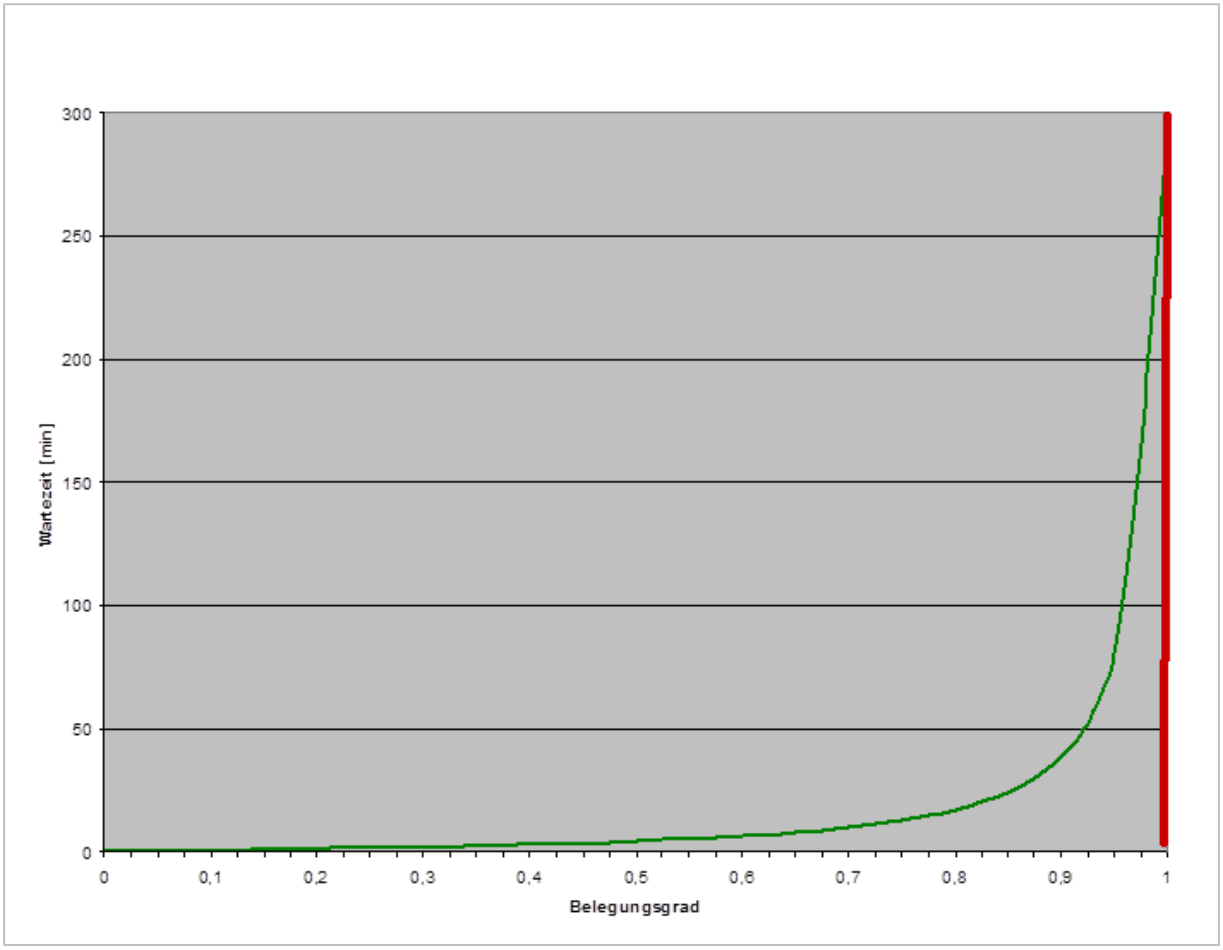

Abbildung 2-11 Prinzipieller Verlauf der Wartezeitfunktionen

2.2.6.3.3 Qualitätsmaßstäbe

Die Leistungsfähigkeit (Zahl der Züge je Richtung und Zeitscheibe) wird im Anschluss an die Ermittlung der Wartezeiten berechnet und als Kenngröße nachrichtlich mit ausgewiesen. Die Leistungsfähigkeit bezeichnet dabei zu einem gegebenen Mischungsverhältnis diejenige Zahl von Zügen, die mit befriedigender Qualität abgefahren werden können.

Eine befriedigende Qualität liegt dann vor, wenn die Summe der außerplanmäßigen Wartezeiten den Wert $W_{B,zul}$ aufweist:

$$W_{B,zul} = \frac{370}{1440} e^{-1,3 p_{PV}} tu \frac{l_s}{100}$$

Dabei bezeichnet:

$W_{B,zul}$	Zulässige außerplanmäßige Wartezeit für befriedigende Qualität
p_{PV}	Anteil des Personenverkehrs
t_u	Länge der Zeitscheibe in Minuten
l_s	Kantenlänge in Kilometern

Abbildung 2-12 zeigt die Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit vom Mischungsverhältnis am Beispiel einer Strecke des bisher in Deutschland genutzten Streckenstandards M 160 (neue TSI-Kategorien: P4/F1) in Form von Kurvenscharen.

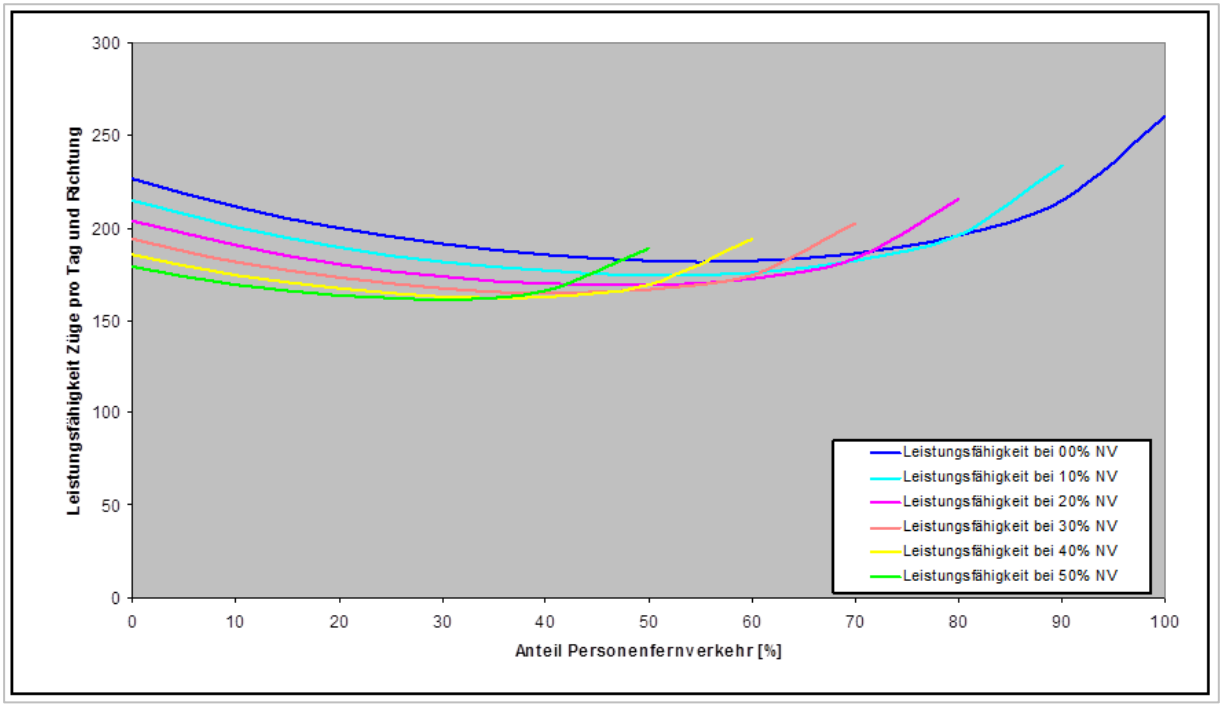

Abbildung 2-12 Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit vom Mischungsverhältnis

2.2.6.4 Berücksichtigung von GV-Vorrangstrecken

Zur Berücksichtigung von GV-Vorrangstrecken wurde das Verfahren der Wirtschaftlichen Zugführung dahingehend erweitert, dass der Personenverkehr im Vorrangnetz Güterverkehr dann entweder nicht mehr oder nur mit harmonisierter Geschwindigkeit verkehren darf, wenn nur so Friktionen auf den Güterverkehr vermieden werden können. Technisch wird dies im Simulationsprozess so gelöst, dass Netzbelastungen durch Personenverkehrszüge auf GV-Vorrangstrecken für den Güterverkehr ignoriert werden und nach Ablauf des Simulationsprozesses eine Rückkopplung an das PV-Modell erfolgt, falls Personenverkehrszüge den Güterverkehr auf GV-Vorrangstrecken behindern. Im Rahmen der Simulation des Nachfrageverhaltens im Personenverkehr sind dann dort geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Die Definition der GV-Vorrangstrecken erfolgt über ein nach Zeitscheiben differenziertes Streckenattribut.

2.2.7 Qualitätssicherung

Das Verfahren der Wirtschaftlichen Zugführung (WiZug) schließt eine Umrechnung von Transportmengen des Güterverkehrs in beladene und leere Wagen (Wagenbildung), die Generierung von Zügen aus der ermittelten Wagenmatrix (Zugbildung), sowie eine kapazitätsabhängige Umlegung der Ströme des Personen- und Güterverkehrs auf das Schienennetz unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeiten der Streckenabschnitte mit ein. WiZug hat sich somit in den letzten 30 Jahren als Werkzeug zur Abbildung des Güterverkehrs innerhalb eines Schienennetzes etabliert und bewährt. Neben den Arbeiten im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung wird es auch für Projekte der DB InfraGO AG bzw. der DB Cargo AG genutzt und fortlaufend an aktuelle Anforderungen angepasst.

Die Eingangsgrößen für die Wagen- und Zugbildung werden in **Kapitel 2.2** des **VP2040-Bands 8.1 E (Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse))** vorgestellt. Sie basieren zum überwiegenden Teil auf Ist-Daten als Durchschnittswerte des Jahres 2019 der DB Cargo AG, berücksichtigen aber auch die Angaben und Erfahrungswerte, die im Rahmen der Verkehrsprognose 2030 und seither durchgeführten Forschungsvorhaben erarbeitet und gewonnen werden konnten. Bei der Wagenbildung werden die Transportmengen des Schienengüterverkehrs aus Fachteil 2 mittels dieser Durchschnittswerte und einem erprobten Algorithmus in Güterwagen umgerechnet.

Die Zugbildung setzt die Wagenmatrix der leeren und beladenen Güterwagen in relationsspezifische Züge mit einem festen Güterfahrplan um. Auch hier werden direkt Eingangsdaten der DB Cargo AG genutzt, um die Eigenschaften der zu bildenden Züge festzulegen. Im Fall der Daten für die Wagen- und Zugbildung wurden an einigen Stellen durch die Gutachter Änderungen vorgenommen. Diese ergaben sich aus anderslautenden Annahmen, gutachterlicher Fachkenntnis oder modellbedingten Gründen und eignen sich daher ebenfalls als Eingangsgrößen für eine Umlegung der Verflechtungsmatrizen im Güterverkehr.

Zur Validierung der Berechnungen aus Wagen- und Zugbildung wurden die Leerwagenanteile sowie durchschnittlichen Zugauslastungen überprüft und mit Vergleichswerten der DB Cargo AG sowie öffentlichen Vergleichsstatistiken (u. a. BNetzA, Destatis) abgeglichen.

Die Eingangs- und Ausgangsgrößen aus dem Prozess der Wirtschaftlichen Zugführung wie unter anderem die Fahrleistungen von beladenen und leeren Fahrten je Produktionssystem werden beim Gutachter vorgehalten und können bei Bedarf eingesehen werden. Eine Veröffentlichung in Berichtsform ist aufgrund der gültigen Datenschutzvereinbarungen mit der DB InfraGO AG und der DB Cargo AG nicht möglich.

3 Netzmodell Schiene für den Analysefall 2019

Für den Analysefall 2019 ist es notwendig, ein geeignetes georeferenziertes Netzmodell zu erarbeiten, welches Verkehrsumlegungen des Schienenpersonenverkehrs (Fern- und Nahverkehrslinien) und Schienengüterverkehrs (inkl. Wagen- und Zugbildung) ermöglicht.

Das Netzmodell der Schiene für den Analysefall 2019 („Basisnetz 2019“) enthält die Netztopologie (Knoten und Strecken[20]) sowie die für die Netzumlegungen relevanten physikalischen Eigenschaften (z. B. Streckenlänge, Streckenstandard, Traktionsart, Gleiszahl). Dieses wird dann um entsprechende Attribute für die Umlegung des SPV (z. Linienführungen und Bedienungshäufigkeiten, Fahrzeiten nach Zuggattungen) und SGV (z. B. Fahrzeiten nach Zuggattungen, Abbiegewiderstände und Leistungsfähigkeiten) ergänzt.

Die Erfassung des Basisnetzes 2019 erfolgte ausgehend vom lagerichtigen Netzmodell STREDA.X der DB Netz AG. Dieses basiert auf dem Infrastrukturregister (ISR) der DB Netz AG und enthält sowohl das von der DB Netz AG direkt betriebene bundesweite Schienennetz, als auch die Strecken der DB RegioNetz Infrastruktur GmbH[21] sowie der Usedomer Bäderbahn GmbH (Eisenbahnen des Bundes). Eine entsprechende Web-Applikation ist öffentlich zugänglich. Der frühere „STREDA.X ISR-Viewer im Web“ firmiert dabei mittlerweile als „GeoViewer DB InfraGO“[22]. Der Infrastrukturzustand des im Koordinatensystem Gauß-Krüger gelieferten Netzmodells entspricht dem Fahrplanjahr 2019.

Ausgehend von STREDA.X wurde das Netzmodell im Inland um die Strecken der nichtbundeseigenen Eisenbahnen (NE-Bahnen) und im Ausland um die Schienennetze der dortigen Infrastrukturbetreiber ergänzt. Dies geschah jeweils unter Verwendung der Network Statements[23] der verschiedenen Infrastruktur-Betreibergesellschaften.

Im Anschluss an die Erfassung der europaweiten Schieneninfrastruktur wurden die umlegungsrelevanten Netzattribute für den Güterverkehr eingepflegt. Dies beinhaltet unter anderem die Berücksichtigung von intra- und intermodalen Verknüpfungspunkten, durchschnittlichen Wagen- und Zugeigenschaften, Streckenleistungsfähigkeiten und Trassenpreisen.

Das auf diese Weise ergänzte Basisnetz 2019 stellt ein vollständiges makroskopisches Netzmodell dar. Es kann sowohl für die Umlegungen des Schienenverkehrs genutzt werden als auch intermodal zur Modellierung der bundesweiten Verkehrsverflechtungen, welche im Rahmen der Verkehrsprognose 2040 durch den Fachteil 2, der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose 2040, anhand von aus den Umlegungen des Schienenverkehrs resultierenden Widerstandsmatrizen durchgeführt wird. Die für die Umlegungen notwendige Modellierung der Analysesituation 2019 und die Kalibrierung der Umlegungsmodelle wird im **Kapitel 2** des **VP2040-Bands 8.1 E (Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse))** beschrieben.

3.1 STREDA.X

Ausgehend von der Schnittstellenvereinbarung zum „Datenexport von Netzeigenschaften für die Umlegung von Zügen aus STREDA.X“ zwischen der DB Netz AG und dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) wurde den Gutachtern ein auf dem öffentlich zugänglichen Strecken- und Knotennetz STREDA.X im Infrastrukturregister (ISR) der DB Netz AG[24] basierender Datensatz übergeben, welcher ein umlegungsfähiges Streckennetz enthält. Mittels der enthaltenen Geometrie-

---

20 Mit Strecken sind stets Kanten, d. h. Verbindungen zwischen zwei Knoten, gemeint. Als Synonym verwenden wir auch den Begriff der Teilstrecke.

21 Thüringer Bergbahn, Südostbayernbahn, Erzgebirgsbahn, Kurhessenbahn, Westfrankenbahn

22 https://geovdbn.deutschebahn.com/isr

23 Informationen und Regelwerk zum Schienennetz; im Bereich der heutigen DB InfraGO AG mittlerweile als Infrastrukturnutzungsbedingungen (IBN) bzw. ehemals Nutzungsbedingungen Netz (NBN) bezeichnet; ehemals Schienennetz-Nutzungsbedingungen (SNB) der DB Netz AG

24 https://geovdbn.deutschebahn.com/isr

Informationen in Gauß-Krüger-Projektion stellt dieser Datensatz ein lagerichtiges Netzmodell dar. Neben den sich aus der Schnittstellenvereinbarung ergebenden gelieferten Eigenschaften war das Netzmodell vom Gutachter, um die nichtbundeseigenen bzw. ausländischen Eisenbahnstrecken und weitere Eigenschaften zu ergänzen. Dabei musste sichergestellt sein, dass das Umlegungs- und Bewertungsmodell allein auf dem Knoten-Kantenmodell und ohne die Geoinformation arbeitet.

3.1.1 Umfang Datenlieferung STREDA.X

Die Datenlieferung STREDA.X durch die DB Netz AG enthält neben Sachdaten auch Geometriedaten im Oracle-Geometrietyp SDO_GEOMETRY. Der Gesamtumfang besteht aus fünf Dateien, welche eine relationale Datenbankstruktur ergeben. Es handelt sich dabei um diese Relationen:

» KNOTEN

» KANTEN

» STRECKE

» KM_SPRUNG

» STSB

Im Folgenden werden die Relationen sowie ihre jeweiligen Felder vorgestellt und genauer beschrieben.

Relation „KNOTEN“

Die Relation „KNOTEN“ enthält Angaben zu den Betriebsstellen (u.a. Bahnhöfe, Haltepunkte und Abzweigstellen) des Eisenbahn-Streckennetzes. Diese dienen der Unterteilung des Streckennetzes in Strecken und Teilstrecken (Kanten).

Feld	Beschreibung
KNOTEN_ID	Knotennummer (technischer Schlüssel)
RL100	Betriebsstellenkürzel nach Bahnamtlichem Betriebsstellenverzeichnis
KNOTENNAME	Name der Betriebsstelle
ART	Betriebsstellenart gemäß Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)
STRNR	An die Betriebsstelle gemäß VzG[25] angrenzende Streckennummer
HAUPTLAGE	Datensatz ist Hauptlage einer Betriebsstelle (JA/NEIN)
HERKUNFT_KZ	Kennzeichen für den Ersteller des Datensatzes (hier: DB Netz AG)
GEOMETRIE	X-Y-Koordinaten des Knotens (Gauß-Krüger-Projektion)

Tabelle 3-1 Relation "KNOTEN"

[25] Verzeichnis zulässiger Geschwindigkeiten

Der Umfang der Datenlieferung beträgt 10.786 (davon 8 nachgeliefert) Datensätze. Aufgrund der speziellen Struktur der Relation „KNOTEN“ stehen diese 10.786 Datensätze für 7.948 verschiedene Betriebsstellen. Dies resultiert daraus, dass Betriebsstellen Bestandteil mehrerer VzG-Streckennummern sein können. Diese können somit mehrere Datensätze mit unterschiedlicher „STRNR“ und „GEOMETRIE“ aufweisen. Das Attribut „HAUPTLAGE“ gibt den für die geografische Verortung maßgeblichen Datensatz an.

Relation „KANTEN“

Die Relation „KANTEN“ enthält Angaben zu Verbindungen zwischen den Knoten des Netzmodells. Hierbei handelt es sich um jeden einzelnen Datensatz zwischen zwei Knoten (Teilstrecken), übergeordnete Gruppierungen von einzelnen Kanten gleicher Eigenschaften unter einer VzG-Streckennummer finden sich in der Relation „STRECKE“. Zwischen zwei Knoten A und B kann es mehr als eine Kantenverbindung geben, diese müssen sich dann aber zwingend in ihrer Streckennummer unterscheiden.

Feld	Beschreibung
KANTEN_ID	Kantennummer (technischer Schlüssel)
STRECKENNUMMER	VzG-Streckennummer (4-stellig)
RIKZ	Richtungskennziffer (0 bei eingleisigen Strecken, 1 und 2 für Regel- und Gegengleis bei zweigleisigen Strecken)
GLEISANZAHL	Gleisanzahl der Kante
VON_KM	Abgehende Kilometrierung der Kante
BIS_KM	Ankommende Kilometrierung der Kante
VON_KM_I	Abgehende Kilometrierung der Kante (in Datenbankschreibweise)
BIS_KM_I	Ankommende Kilometrierung der Kante (in Datenbankschreibweise)
VON_KNOTEN_ID	KNOTEN_ID des Von-Knotens der Kante
BIS_KNOTEN_ID	KNOTEN_ID des Bis-Knotens der Kante
LAENGE	Kantenlänge in km
STRECKENSTANDARD	Streckenstandard der Kante
TRAKTION	Elektrifizierung der Kante
STRECKENKLASSE	Streckenklasse der Kante
STRECKENNEIGUNG	Streckenneigung der Kante in Promilleklassen
NETZBETREIBER	Netzbetreiber (hier: DB Netz AG, RNI, Usedomer Bäderbahn GmbH)
MULTINATLIRAUMPROFIL	Multinationales Lichtraumprofil
INTEROPLIRAUMPROFIL	Interoperables Lichtraumprofil
NATLIRAUMPROFIL	Nationales Lichtraumprofil
VART	Verkehrsart einer Kante (Pz, Gz, Pz/Gz, S-Bahn, auf Anfrage)
HERKUNFT_KZ	Kennzeichen für den Ersteller des Datensatzes (hier: DB Netz AG)
KV_PROFIL	KV-Kodifizierung

TEN_KLASSIFIZIERUNG	TEN-Klassifizierung
TEN_PERSON	TSI-Kategorie Personenverkehr
TEN_GUETER	TSI-Kategorie Güterverkehr
TEN_REGPERSON	TSI-Kategorie regionaler Personenverkehr
MIN_BOGENRADIUS	Minimaler Bogenradius
REGELSPURWEITE	Spurweite (hier: 1.435 mm)
BETRIEBSVERFAHREN	Form der Betriebsführung
PZB	Ausrüstung mit Zugsicherungssystem PZB
LZB	Ausrüstung mit Zugsicherungssystem LZB
ETCS_LEVEL_VERS	Ausrüstung mit Zugsicherungssystem ETCS (inkl. Level)
ETCS_SOFTWARE_VERS	ETCS-Software-Version (Baseline / SRS)
STROMVERSORGUNGSSYSTEM	Angabe des Stromsystems elektrifizierter Streckenabschnitte
VSOLLMAX	Maximale Sollgeschwindigkeit
GUETERVKK	Zugehörigkeit zu den Europäischen Güterverkehrskorridoren 1, 3, 4, 7, 8, 9
GEOMETRIE	Koordinaten der Kante (Polygonzug)

Tabelle 3-2 Relation "KANTEN"

Der Umfang der Datenlieferung beträgt 14.089 Datensätze. Aufgrund der speziellen Struktur der Relation „KANTEN“ stehen diese 14.089 Datensätze für 9.011 verschiedene Kanten. Zweigleisige Streckenabschnitte weisen hierbei zwei Datensätze in der Relation „KANTEN“ auf. Deren Attribute können sich zwischen Richtungsgleis und Gegengleis unterschieden. Eingleisige Streckenabschnitte weisen hingegen lediglich einen Datensatz auf.

Relation „STRECKE“

Die Relation „STRECKE“ beschreibt die jeweils unter einer VzG-Streckennummer zusammengefassten Kanten.

Feld	Beschreibung
STRECKE_ID	Technischer Schlüssel für die Strecke
STRECKE_NR	VzG-Streckennummer
STRECKE_NAME	Name der Strecke
STRECKE_KURZ_NAME	Kurzname der Strecke
STRECKE_ANFANG_KM	Kilometrierung des Streckenanfangs
STRECKE_ENDE_KM	Kilometrierung des Streckenendes
STRECKE_ANFANG_KM_I	Kilometrierung des Streckenanfangs (in Datenbankschreibweise)
STRECKE_ENDE_KM_I	Kilometrierung des Streckenendes (in Datenbankschreibweise)
HERKUNFT_KZ	Kennzeichen für den Ersteller des Datensatzes (hier: DB Netz AG)

Tabelle 3-3 Relation "STRECKE"

Der Umfang der Datenlieferung beträgt 3.181 Datensätze und umfasst neben den Streckenabschnitten der DB Netz AG auch Strecken aus dem Zuständigkeitsbereich von nichtbundeseigenen Eisenbahnen. Darüber hinaus sind reservierte Streckennummern für geplante Bahnstrecken sowie früher genutzte Streckennummern für ehemalige Bahnstrecken enthalten.

Relation „KM_SPRUNG“

Die Relation „KM_SPRUNG“ enthält Informationen zu Kilometrierungssprüngen. Diese beschreiben Unstetigkeiten in der Kilometrierung einer Strecke, welche sowohl in Form von Überlängen, als auch in Form von Fehllängen auftreten können und meist durch nachträgliche infrastrukturelle Veränderungen im Streckenverlauf entstehen.

Feld	Beschreibung
STR_ID	Technischer Schlüssel für die Strecke
STRECKE_NR	VzG-Streckennummer
RICHTUNG	Richtungskennziffer
ANKOMMENDER_KM	Ankommende Kilometrierung
ABGEHENDER_KM	Abgehende Kilometrierung
ANKOMMENDER_KM_I	Ankommende Kilometrierung (in Datenbankschreibweise)
ABGEHENDER_KM_I	Abgehende Kilometrierung (in Datenbankschreibweise)
M	Kilometrierungssprung als Differenz Ankommend zu Abgehend in Metern

Tabelle 3-4 Relation "KM_SPRUNG"

Der Umfang der Datenlieferung beträgt 4.087 Datensätze.

Relation „STSB“

Die Relation „STSB“ enthält Informationen über Bereiche, bei denen Strecken niveaugleiche Berührungen aufweisen, beziehungsweise einen gemeinsamen Verlauf besitzen. Die Streckenberührungen sind hierbei stets über die beiden beteiligten Streckennummern definiert, sowie über den Knoten, in dem die Streckenberührung stattfindet.

Feld	Beschreibung
KNOTEN	KNOTEN_ID des Knotens, in dem die Streckenberührung stattfindet
STRECKE_ID_1	Technischer Schlüssel für die Strecke mit der kleineren der beiden VzG-Streckennummern, die an der Streckenberührung beteiligt sind
STRECKE_NR_1	Kleinere der beiden VzG-Streckennummern, die an der Streckenberührung beteiligt sind
KM_I_1	Berührungs-km derjenigen der beiden an der Berührung beteiligten Strecken mit der kleineren Streckennummer (in Datenbankschreibweise)
RIKZ_1	Richtungskennziffer derjenigen der beiden an der Berührung beteiligten Strecken mit der kleineren Streckennummer
STRECKE_ID_2	Technischer Schlüssel für die Strecke mit der größeren der beiden VzG-Streckennummern, die an der Streckenberührung beteiligt sind
STRECKE_NR_2	Größere der beiden VzG-Streckennummern, die an der Streckenberührung beteiligt sind
KM_I_2	Berührungs-km derjenigen der beiden an der Berührung beteiligten Strecken mit der größeren Streckennummer (in Datenbankschreibweise)
RIKZ_2	Richtungskennziffer derjenigen der beiden an der Berührung beteiligten Strecken mit der größeren Streckennummer
BER_KZ	Berührungskennziffer
BEKZLANG	Berührungskennziffer in Langform (u. a. einmündende bzw. abgehende Strecke, Kreuzend mit Überleitung, Kreuzend ohne Überleitung, Abzweigstelle – indirekte Berührung, einmündendes bzw. abgehendes Streckengleis)

Tabelle 3-5 Relation "STSB"

Der Umfang der Datenlieferung beträgt 4.332 Datensätze.

Aus den verschiedenen Relationen ergab sich somit ein makroskopisches Netzmodell auf Knoten-Kanten-Basis. Dieses galt es im Folgenden um Netzinkonsistenzen zu bereinigen (**Kapitel 3.1.3**) und um weitere Streckenbereiche von nichtbundeseigenen (**Kapitel 3.2**) bzw. ausländischen (**Kapitel 3.3**) Eisenbahnen zu ergänzen. Um ein umlegungsfähiges Netzmodell zu erhalten waren darüber hinaus zusätzliche Netzattribute des Personen- bzw. Güterverkehrs zu hinterlegen, siehe hierfür **Kapitel 2.1** bzw. **Kapitel 2.2** des **VP2040-Bands 8.1 E (Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse)**.

3.1.2 Ergänzende Datenlieferungen

Im Nachgang der eigentlichen Datenlieferung STREDA.X wurden auf Anfrage der Gutachter zusätzliche, für die Erarbeitung des Basisnetzes 2019 dienliche, Attribute von Seiten der DB Netz AG an die Gutachter übergeben. Diese Nachlieferungen umfassen die folgenden Inhalte:

Datenset „Bahnuebergang“

Das Datenset enthält Angaben zu 13.677 Bahnübergängen hinsichtlich ihrer Lage im Netz (Streckennummer/Kilometrierung/Koordinaten) und ihrer Kreuzungsparameter (öffentliche/private Wege/Straße).

Datenset „Bruecken“

Das Datenset enthält Angaben zu 548 Bahnbrücken hinsichtlich ihrer Lage im Netz (Streckennummer/Kilometrierung/Koordinaten) und ihrer Länge.

Datenset „Tunnel“

Das Datenset enthält Angaben zu 627 Bahntunnels hinsichtlich ihrer Lage im Netz (Streckennummer/Kilometrierung/Koordinaten) und ihrer Länge.

Datenset „Steigungsprofil“

Das Datenset enthält Angaben zu den Steigungsprofilen (maßgebliche Neigung/Gefälle) der 14.089 Kanten der Relation „STRECKE“.

Datensetz „Anst_Awanst“

Das Datensetz enthält Angaben zu 553 nicht in den Relationen „KNOTEN“ und „KANTEN“ abgedeckten Betriebsstellen der Betriebsstellenarten Anst (Anschlussstelle) und Awanst (Ausweichanschlussstelle) hinsichtlich ihrer Lage im Netz (Streckennummer/Kilometrierung/Koordinaten).

3.1.3 Netzinkonsistenzen und Streckenübergänge

Bei dem von der DB Netz AG gelieferten Netzmodell STREDA.X handelt es sich – wie auch beim Infrastrukturregister (ISR) im Internet – vom Grundprinzip um schematische Darstellungen mit aggregierten Streckensegmenten von Betriebsstellenmitte bis Betriebsstellenmitte. Der Einfachheit wegen werden verschiedene Betriebsstellenarten dort unterschiedlich erfasst und dargestellt. Gewisse Betriebsstellenarten (z. B. „Bf“ für Bahnhöfe werden immer dargestellt, andere jedoch nur bei Bedarf (z. B. „Bft“ für Bahnhofsteile).

Das zugrundeliegende Ziel dieses Vorgehens ist es, die Anzahl der Bahnhofsteile in der ISR-Darstellung zu reduzieren. Bahnhofsteile sind dabei Untergliederungen von größeren Bahnhöfen, welche durch Zwischensignale voneinander abgegrenzt sein können. So beginnen und enden Strecken oftmals eigentlich in einem Bahnhofsteil und nicht in der jeweils übergeordneten (Haupt-)Betriebsstelle.

Dies führt dazu, dass im ISR und dem daraus abgeleiteten Netzmodell STREDA.X manche Betriebsstellen weiter in ihre Bahnhofsteile untergliedert („Tochterbetriebsstellen“) sind, während andere Betriebsstellen hingegen aus lediglich aus einem Knoten – der „Mutterbetriebsstelle“ – bestehen. Vergleicht man das verfügbare Netzmodell mit Fahrplaninformationen des Personen- und Güterverkehrs bestehen Netzinkonsistenzen, bei denen die Darstellungsweise im abstrahierenden Sinne des ISR richtig ist, jedoch ein Routing der in der Realität auftretenden Verkehrsströme nicht möglich ist.

Im Zuge einer Untersuchung der durch die DB Netz AG gelieferten Infrastruktur auf Stellen ohne Routingfähigkeit wurden einige Großknotenbereiche ausfindig gemacht, in denen sich die Netzinfrastruktur STREDA.X von der Knoten- und Kantenabfolge anderer DB-Datenquellen, wie den Zugzahlen gemäß der Ist-Zug-Belastung (IBL) oder dem Trassenfinder[26] unterscheidet. Dort weichen die Laufwegvorgaben des Fahrplans der Personen- bzw. Güterzüge derart von der gelieferten Netzinfrastruktur ab, so dass – wie schon bei der Aufbereitung des Basisnetzes 2010 im Rahmen von Los 5 der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 – eine nachträgliche Bearbeitung und Korrektur dieser betroffenen Netzbereiche notwendig war.

Gegenüber dem im Jahre 2011 für die Verkehrsprognose 2030 übergebenen Netzzustand des ISR fanden mittlerweile jedoch auch auf Seiten der DB Netz AG methodische Anpassungen und inhaltliche Überarbeitungen von STREDA.X statt. So wurde mit dem Streckenübergang („Stub“) eine neue, ausschließlich im ISR genutzte und in keinen sonstigen öffentlichen Unterlagen verfügbare, Betriebsstellenart eingeführt. Die von der DB Netz AG ins Netzmodell übertragenen 639 Streckenübergänge versuchen teilweise, die oben angesprochenen Netzinkonsistenzen im Bereich von Bahnhofsteilen zu kompensieren. Sie werden auch dann genutzt, wenn Streckenverzweigungen nicht unmittelbar in der Mitte einer Betriebsstelle stattfinden, sondern etwas versetzt liegen und eine abzweigende Strecke den ursprünglichen Streckenverlauf noch über einen gewissen Teilabschnitt mitbenutzen.

Knoten Karlsruhe

Sehr gut lässt sich dies am Beispiel der Güterumgehungsbahn Karlsruhe darstellen. Die Strecken über den Karlsruher Güterbahnhof werden in den Unterlagen der Bahn üblicherweise wie folgt erfasst:

Strecke	Beschreibung	Gleiszahl
4210	Karlsruhe Gbf – Karlsruhe-Hagsfeld	2-gleisig
4211	Karlsruhe Gbf – Karlsruhe-Durlach	1-gleisig
4213	Karlsruhe Gbf – Karlsruhe Brunnenstück	2-gleisig
4214	Karlsruhe Gbf – Karlsruhe-Dammerstock	2-gleisig
4215	Karlsruhe Gbf – Karlsruhe West	1-gleisig
4217	Karlsruhe Gbf – Karlsruhe-Durlach	1-gleisig

Tabelle 3-6 Streckenübersicht Karlsruhe Gbf

Dies erweckt den Eindruck, dass es jeweils eigenständige Kantenverläufe zwischen dem Karlsruher Güterbahnhof und den Bahnhöfen Karlsruhe-Hagsfeld, Karlsruhe-Durlach (2x) und Karlsruhe West bzw. den Abzweigen Karlsruhe Brunnenstück und Karlsruhe-Dammerstock gibt.

In der Realität jedoch zweigt die Strecke 4210 etwas südlich des Bahnhofs Karlsruhe-Hagsfeld von der Strecke 4020 (Rheinbahn Mannheim – Rastatt) ab. In die Strecke 4210 münden nacheinander die Strecken 4217 und 4211 ein. Die Strecke 4217 zweigt hierbei südlich des Bahnhofs Karlsruhe-Durlach von der Strecke 4000 (Rheintalbahn Mannheim – Basel) ab, die Strecke 4211 etwas westlich versetzt davon von der Strecke 4200 (Karlsruhe – Mühlacker). Entsprechend münden die Verkehre von/nach Karlsruhe-Hagsfeld (2 Gleise) und Karlsruhe-Durlach (2x je 1 Gleis) auf lediglich 2 statt 4 Gleisen von Norden bzw. Osten in den Karlsruher Güterbahnhof ein.

[26] www.trassenfinder.de

Ähnlich verhält es sich in Richtung Westen (Karlsruhe West) und Süden (Karlsruhe Brunnenstück / Karlsruhe-Dammerstock). Die Strecke 4213 verlässt den Karlsruher Güterbahnhof und mündet beim Abzweig Karlsruhe Brunnenstück wieder in die oben erwähnte Strecke 4000 (Rheintalbahn Mannheim – Basel). Von ihr zweigt zuvor die Strecke 4214 in Richtung Karlsruhe-Dammerstock ab, die dort wiederum in die oben erwähnte Strecke 4020 (Rheinbahn Mannheim – Rastatt) einmündet. Die Strecke 4215 zweigt ihrerseits vom Richtungsgleis der Strecke 4214 ab und verläuft von dort zum Bahnhof Karlsruhe West. Entsprechend werden hier die Verkehre von insgesamt 5 Gleisen (2x 4213, 2x 4214 und 1x 4215) im Zulauf auf den Karlsruher Güterbahnhof auf lediglich 2 Gleise verjüngt.

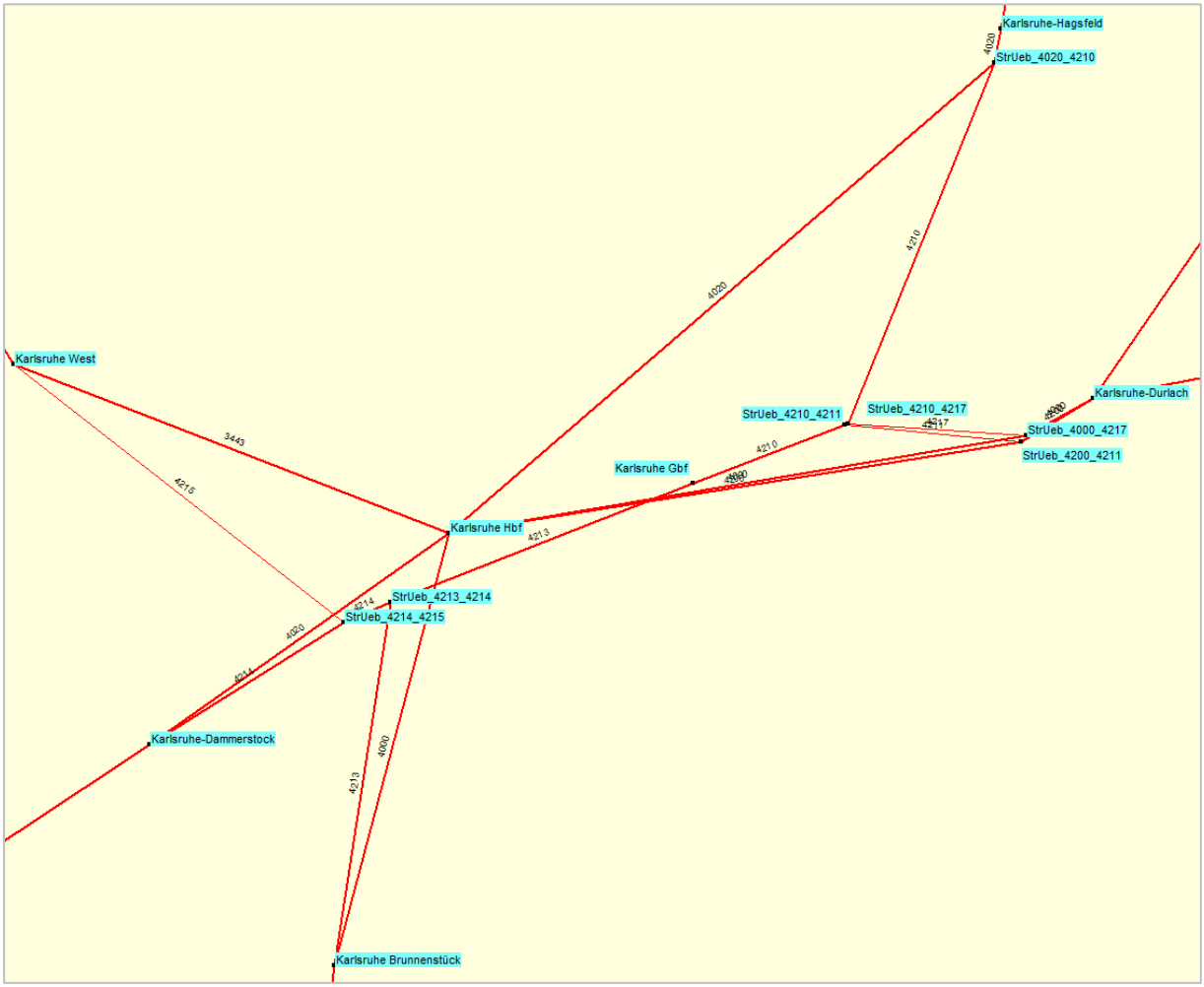

Abbildung 3-1 Knoten Karlsruhe (Übergabe STREDA.X)

Durch die in der Übergabe von STREDA.X genutzte Ergänzung von Streckenübergängen (vgl. **Abbildung 3-1**) kann diese Situation dort besser dargestellt werden, als es bei einer Netztopographie gemäß der vorherigen Tabelle der Fall wäre. So kann auch die Kapazitätssituation im Bereich der Karlsruher Güterumgehungsbahn realitätsnäher erfasst werden, da der Zulauf auf den Güterbahnhof lediglich 2 jeweils zweigleisige Strecken (4210/4213) aufweist und nicht stattdessen mit 4 bzw. 5 Gleisen, wie es bisher der Fall gewesen wäre.

Beim positiven Beispielfall Karlsruhe ergibt sich durch die Nutzung von Streckenübergängen eine Verbesserung der Netztopographie. Jedoch gibt es eine Vielzahl von Netzbereichen, in denen sich dies gänzlich anders darstellt und bei denen sich durch die oben besprochenen Bahnhofsteile bzw. das Zusammenspiel aus Bahnhofsteilen und Streckenübergängen Kantenfolgen ergeben, denen es an einem der beiden Enden an Anschluss fehlt, oder bei denen es gar isoliert vom restlichen Netz an beiden Seiten keine Verbindung gibt. Exemplarisch seien hierzu die im Folgenden diskutierten Knoten Laupheim, Fulda und Bebra genannt, bei denen sich die Problematik besonders gut darstellen lässt.

Insgesamt lässt sich jedoch zusammenfassen, dass es sich hierbei um einen bundesweiten Sachverhalt handelt, der insbesondere in Großknotenbereichen auftritt, bei denen mehrere Strecken verzweigen und die aufgrund ihrer Größe eine Vielzahl von Bahnhofsteilen aufweisen.

Knoten Laupheim

Ein Beispiel hierfür zeigt sich im Knoten Laupheim in Baden-Württemberg. Der dortige Bahnhof Laupheim West liegt an der Württembergischen Südbahn Ulm – Friedrichshafen (Strecke 4500). Über eine Stichstrecke ist der Bahnhof Laupheim Stadt an der Strecke 4510 angebunden. Eine 2011 in Betrieb genommene Verbindungskurve (Südkurve Laupheim, Strecke 4513) zweigt am Bft Laupheim Kurve Süd von der Württembergischen Südbahn ab und führt über den Bft Laupheim Kurve zum Bft Laupheim Kurve Ost, wo sie auf in die Stichstriche 4510 zum Bahnhof Laupheim Stadt einmündet. Alle betroffenen Teilstrecken sind darüber hinaus seit 2021 elektrisch befahrbar, waren jedoch bereits in der STREDA.X-Lieferung für 2019 als elektrifiziert übergeben worden, was entsprechend für den Analysezustand 2019 zu korrigieren war.

Im von der DB Netz AG übergebenen Netzmodell STREDA.X (vgl. **Abbildung 3-2**) stellt sich die Netztopographie im Knoten Laupheim allerdings wie folgt dar: Die von Norden aus Richtung Erbach (Württ) kommende Strecke 4500 verläuft korrekt zum Bf Laupheim West. Sie setzt sich im Anschluss jedoch nicht zum Bft Laupheim Kurve Süd fort, sondern verläuft nach Süden direkt zum Hp Schemmerberg weiter. Die Strecke 4510 wird ohne zwischenliegende Betriebsstelle zwischen den Bahnhöfen Laupheim West und Laupheim Stadt geführt. Die Strecke 4513 ohne zwischenliegende Betriebsstelle verläuft zwischen dem Bft Laupheim Kurve Süd und dem Bft Laupheim Kurve Ost, weist somit keine weiteren Verbindungen zum sonstigen Netz auf und liegt isoliert als eigenständige Kante im Netz.

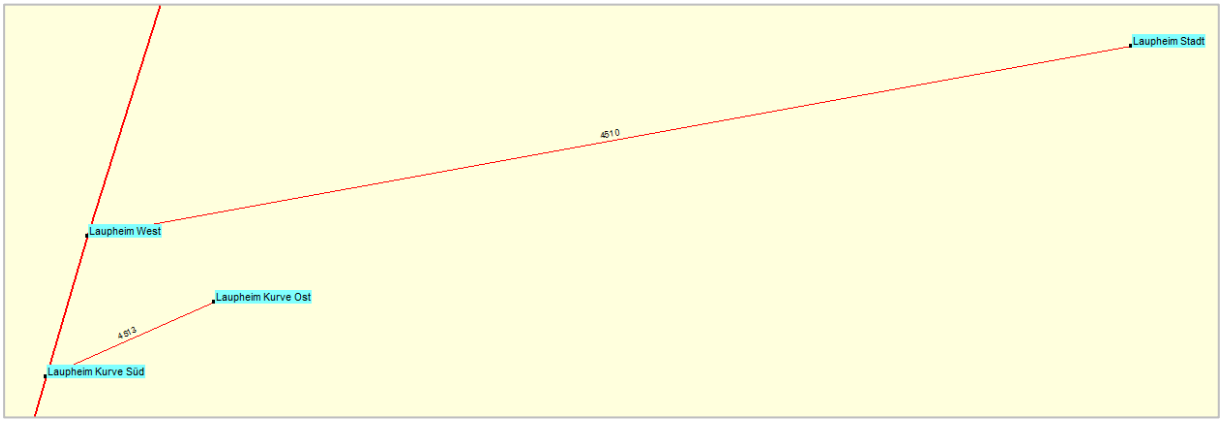

Abbildung 3-2 Knoten Laupheim (Übergabe STREDA.X)

Entsprechend war es hier für die Erarbeitung des Basisnetzes 2019 notwendig, die Knoten-Kanten-Struktur anzupassen und die korrekte Netztopographie herzustellen (vgl. **Abbildung 3-3**). Hierfür wurde der Bft Laupheim Kurve Süd südlich des Bf Laupheim West in die Strecke 4500 eingebunden und der Bft Laupheim Kurve Ost zwischen Laupheim West und Laupheim Stadt in die Strecke 4510 eingebunden. Darüber hinaus wurde der Bft Laupheim Kurve entlang der Strecke 4513 ergänzt. Auch die erst zum Fahrplanwechsel im Jahr 2021 abgeschlossene Ausrüstung mit Oberleitungsanlagen wurde für das Basisnetz 2019 wieder zurückgenommen, was sich an der schwarzen statt der roten Kantenfarbe ablesen lässt.

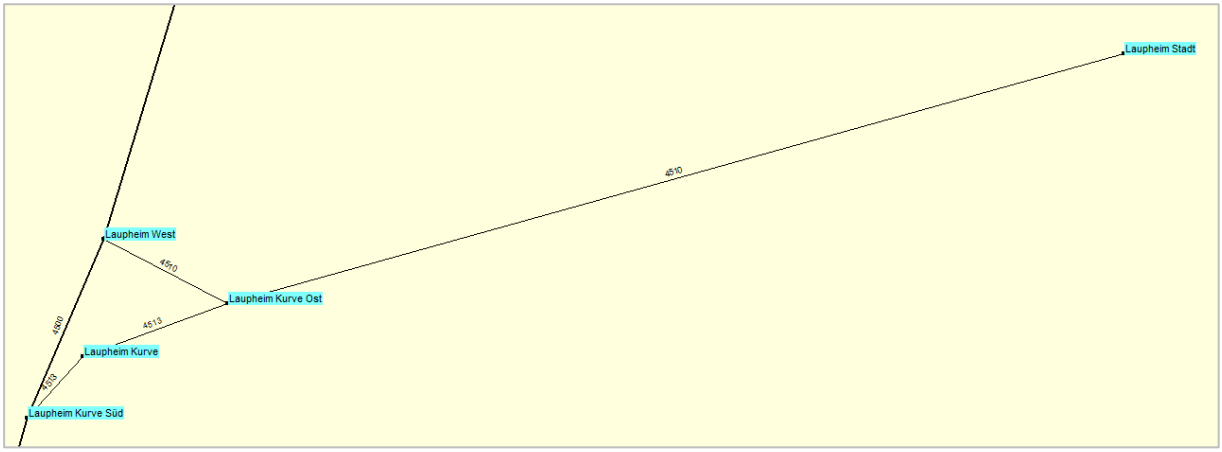

Abbildung 3-3 Knoten Laupheim (Basisnetz 2019)

Knoten Fulda

In Fulda verlaufen die Schnellfahrstrecke Hannover – Würzburg (Strecke 1733) und die Strecke Frankfurt – Göttingen (Strecke 3600) als Teil der klassischen Nord-Süd-Strecke zwischen dem Bft Fulda Bronnzell im Süden und dem Bft Fulda SFS Nord im Norden gemeinsam durch den Knoten Fulda samt dem dortigen Personenbahnhof mit Bahnsteigbereich. Zusätzlich wird der Güterbahnhof Fulda über die am Bft Fulda Gbf (W 123) von der Strecke 3600 abzweigende Strecke 3828 an den Personenbahnhof Fulda angebunden. Die aus Richtung Maberzell kommende Bahnstrecke Gießen – Fulda (Strecke 3700) endet im Personenbahnhof Fulda, die Rhönbahn in Richtung Gersfeld (Strecke 3824) beginnt jedoch nicht im Personenbahnhof Fulda, sondern bereits südlich davon im Bft Fulda Bronnzell.

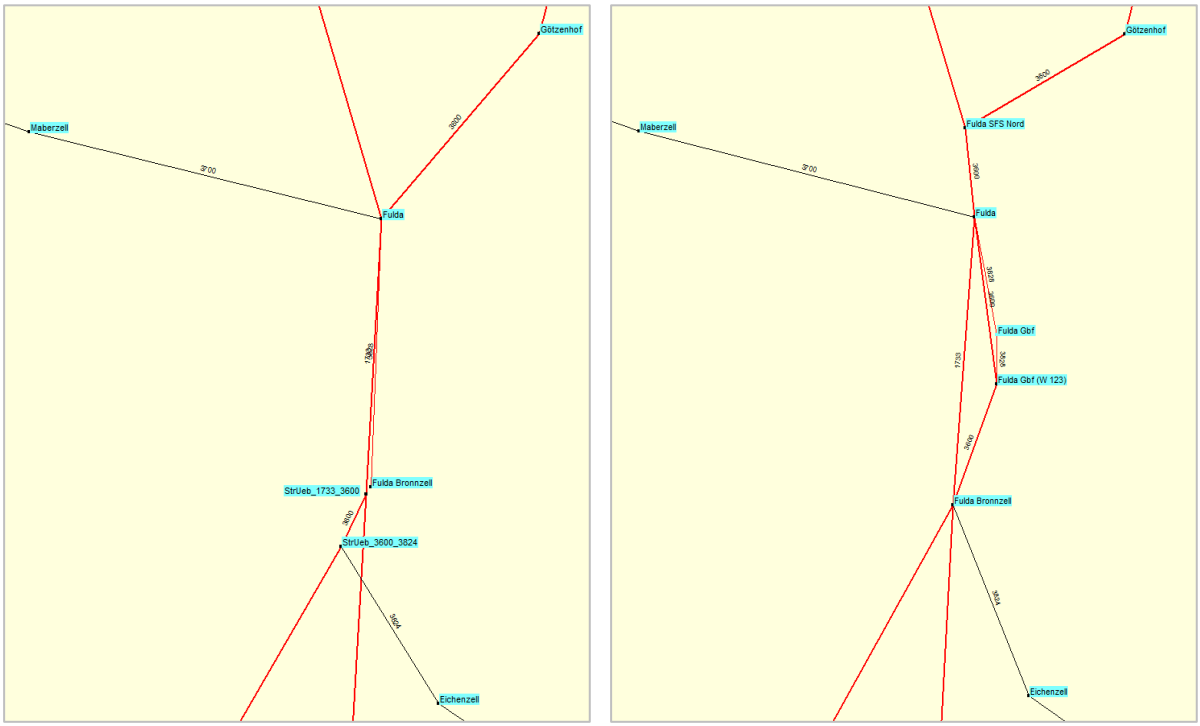

Abbildung 3-4 Knoten Fulda (links: Übergabe STREDA.X, rechts Basisnetz 2019)

Wie **Abbildung 3-4** auf der linken Seite zeigt, war diese Struktur bei der Lieferung STREDA.X so nicht gegeben. Das Fehlen des Bft Fulda SFS Nord als Verzweigung der Strecken 1733 und 3600 ist dabei als weniger kritisch einzustufen, als die Situation südlich des Personenbahnhofs Fulda. Der

Güterbahnhof Fulda samt des Bft Fulda Gbf (W 123) fehlt gänzlich. Dafür verläuft die Strecke 3828 im Netzmodell der STREDA.X-Lieferung zwischen Bft Fulda Bronnzell und dem Personenbahnhof Fulda. Gleichzeitig hat der Bft Fulda Bronnzell jedoch keine Verknüpfung mit dem restlichen Netz, so dass die Strecke 3828 als Stichstrecke ins Nirwana führt. Dies resultiert daraus, dass die ansonsten in Fulda Bronnzell stattfindende Verzweigung der Strecken 1733, 3600 und 3824 in zwei separate Streckenübergänge zwischen den Strecken 1733 und 3600 sowie 3600 und 3824 überführt wurde. Im Basisnetz 2019 wurde daher die reguläre Knoten-Kanten-Topographie wiederhergestellt.

Knoten Bebra

Im Knoten Bebra kreuzen sich die Bahnstrecken 6340 (Halle – Bebra und Bebra – Baunatal-Guntershausen, weiter via Main-Weser-Bahn nach Kassel) und 3600 (Frankfurt – Göttingen). Über die sog. Berliner Kurve (Strecke 3601) zwischen dem Bft Bebra-Blankenheim und dem Abzweig Faßdorf kann die Relation Fulda – Erfurt ohne Fahrtrichtungswechsel im Personenbahnhof Bebra umfahren werden. Darüber hinaus gibt es in Bebra einen Güterbahnhof, der früher als wichtiger Rangierbahnhof fungierte. Aufgrund der früheren Nutzung sind die Anlagen des Bebraer Rangierbahnhofs sehr weitläufig und weisen zusätzlich eine separate Gleisgruppe „Bebra Berg“ auf. Bebra Rbf ist über die am Abzweig Bebra Lämmerberg abgehende und über den Personenbahnhof Bebra in Richtung Bebra Umladebahnhof verlaufende Strecke 3805 mit den Strecken 3600 (Ri. Fulda und Eichenberg) und 6340 (nur Ri. Kassel) verbunden, die Gleisgruppe am Bft Bebra Berg über die Strecke 3807 darüber hinaus mit dem Abzweig Bebra Ost in Richtung Halle. Zwischen Rangierbahnhof Bebra und dem Bft Bebra Rbf Berg besteht eine direkte Verbindung mittels Strecke 3809, zum Bft Bebra Ost darüber hinaus von Bebra Rbf mittels Strecke 3804.

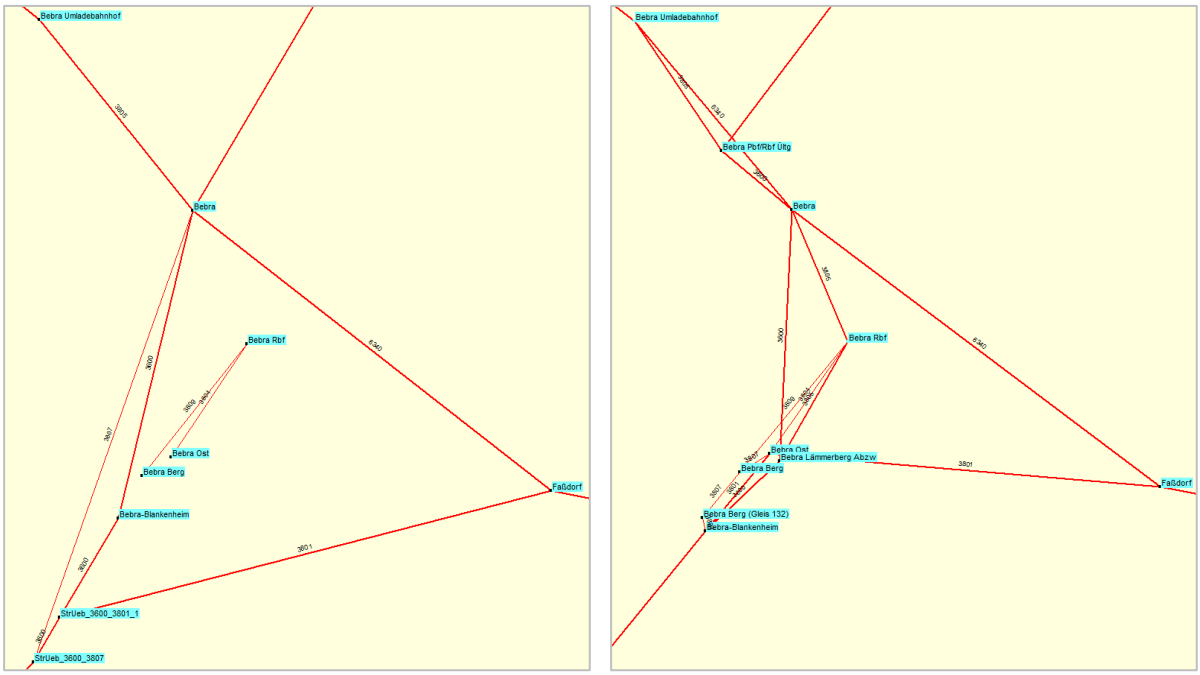

Abbildung 3-5 **Knoten Bebra (links: Übergabe STREDA.X, rechts: Basisnetz 2019)**

Auf **Abbildung 3-5** lässt sich links, bei der Übergabe STREDA.X erkennen, dass der Rangierbahnhof Bebra zwar über die Strecke 3809 mit dem Bft Bebra Berg und über die Strecke 3804 mit dem Bft Bebra Ost verbunden ist, jedoch von den drei Betriebsstellen keine weitere Verbindung mit dem sonstigen Netz besteht und die beiden Netzkanten somit isoliert sind. Die Strecke 3805, die zwischen Personenbahnhof Bebra und Bebra Umladebahnhof parallel mit der Strecke 6340 verläuft, fehlt südlich des Personenbahnhofs gänzlich. Im Basisnetz 2019 wurde dies entsprechend korrigiert, so dass die

fehlenden Bahnhofsteile Bebra Berg (Gleis 132) und Bebra Pbf/Rbf Ültg ergänzt und die Streckenverläufe angepasst worden sind.

3.2 Nichtbundeseigene Eisenbahnen

Das Netzmodell STREDA.X wurde im Inland um die öffentliche Eisenbahninfrastruktur der nicht-bundeseigenen Eisenbahnen (NE-Bahnen) ergänzt. Die Bestimmung der relevanten Strecken erfolgte dabei über die Liste „Betreiber der Schienenwege“[27] des Eisenbahnbundesamtes. Dort sind die nach §6 AEG[28] genehmigten Eisenbahninfrastrukturunternehmen sowie deren Streckenabschnitte enthalten. Die in der Liste genannten Schmalspur-, Zahnrad- und Museumsbahnen wurden heraussepariert und nicht in das Netzmodell übernommen.

Nichtöffentliche Eisenbahninfrastrukturen von Hafen-, Industrie- oder Anschlussbahnen sind in der erwähnten Liste ebenfalls nicht aufgeführt. Eine (Teil-)Übernahme ins Netzmodell erfolgte hier fallweise im Rahmen der Erarbeitung der intramodalen bzw. intermodalen Verknüpfungspunkte für die Netzattribuierung des Güterverkehrs gemäß **Kapitel 3.4**. Die Übernahme wird ausführlich **Kapitel 2.2** des **VP2040-Bands 8.1 E (Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse)** erläutert.

Aufbauend auf den vorhandenen Daten der Verkehrsprognose 2030 bzw. des BVWP 2030 wurden die Streckeneigenschaften und Netzattribute der einzelnen NE-Bahnen anhand der jeweiligen Schienennetz-Nutzungsbedingungen (SNB) der Eisenbahninfrastrukturunternehmen plausibilisiert und übertragen. Hierbei wurden grundsätzlich die gleichen Attribute bestimmt, wie sie auch beim Netzmodell STREDA.X für die Eisenbahnen des Bundes gegeben sind und soweit sie für die Zwecke der Verkehrsprognose 2040 und eine Umlegung von Personen- und Güterverkehrsströmen notwendig sind.

3.3 Ausländisches Schienennetz

Die Erfassung des ausländischen Schienennetzes sowie von relevanten Eisenbahnfährverbindungen fußte ebenfalls ausgehend auf dem bestehenden Netzmodell der Verkehrsprognose 2030 bzw. des BVWP 2030. Wie auch bei der Erfassung der Streckenabschnitte der nichtbundeseigenen Eisenbahninfrastrukturunternehmen in Deutschland wurden die Attribute aus den Schienennetz-Nutzungsbedingungen (SNB) der jeweiligen (nationalen) Infrastruktur-Betreibergesellschaften übernommen. Diese werden international als „Network Statement“ bezeichnet und sind im Zuge der Richtlinie 2001/14/EG innerhalb der Europäischen Union von allen Infrastrukturbetreibern verpflichtend zu veröffentlichen. Einzelne Staaten bzw. Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) im Ausland bieten dabei GIS-Tools im Web, analog dem GeoViewer der DB, so bspw. in Österreich[29] oder Italien[30].

Da sich die einzelnen Dokumente trotz einer fortwährenden voranschreitenden Harmonisierung zum Teil weiterhin recht deutlich in Umfang und Detailierungsgrad unterscheiden, musste zum Teil auf externes Datenmaterial wie die Customer Information Platform[31] der RailNetEurope[32] Eisenbahnatlanten, Streckenkarten oder GIS-Tools wie Google Maps und die OpenRailwayMap zurückgegriffen werden, um Angaben zum ausländischen Bahnnetz zu erhalten.

---

27 https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Eisenbahnunternehmen/EIU/eiu_oeff.html

28 Allgemeines Eisenbahngesetz

29 https://rinf.schig.com/

30 https://epir.rfi.it/arcgis/apps/sites/#/epir-en

31 https://cip-online.rne.eu/

32 RailNetEurope - Association For Facilitating Traffic On European Rail Infrastructure; europäischer Verband von Eisenbahninfrastrukturunternehmen

Als weitere Quellen wurden die „Corridor Information Documents“ (CID) der Deutschland bzw. die Verkehrsprognose 2040 betreffenden europäischen Kernnetzkorridore[33] (vgl. **Abbildung 3-6**) herangezogen. Dort finden sich ebenfalls verschiedenste Beschreibungen zur Infrastruktur, wie bspw. zur Gleiszahl, Geschwindigkeiten, Stromsystemen, Achslasten, Zuglängen, Lichtraum-/KV-Profilen und Gradienten.

Für die aus der Verkehrsprognose 2030 übernommenen Eisenbahnfährverbindungen wurde mit öffentlich zugänglichen Datenquellen, insb. der Fahrplanauskünfte der Fährlinienbetreiber, geprüft, inwieweit diese grundsätzlich noch im Liniendienst sind, und inwieweit sie weiterhin Unterstützung für Schienenverkehrsdienste (Gleismeter auf den Fährschiffen zur direkten Befahrung durch Züge bzw. Nutzung im sonstigen RoRo[34]-Verkehr) bieten bzw. für die Zwecke der Eisenbahnverkehrsprognose 2040 von verkehrlicher Relevanz sind. Entsprechend fand eine Aktualisierung der hinterlegten Eisenbahnfährverbindungen statt.

---

33 Verordnung (EU) Nr. 1316/2013 definiert 9 Kernnetzkorridore im transeuropäischen Verkehrsnetz (TEN-V)

34 „Roll-on/roll-off“: Schiffe, die Laderaum für Fahrzeuge (Pkw/Lkw) bieten

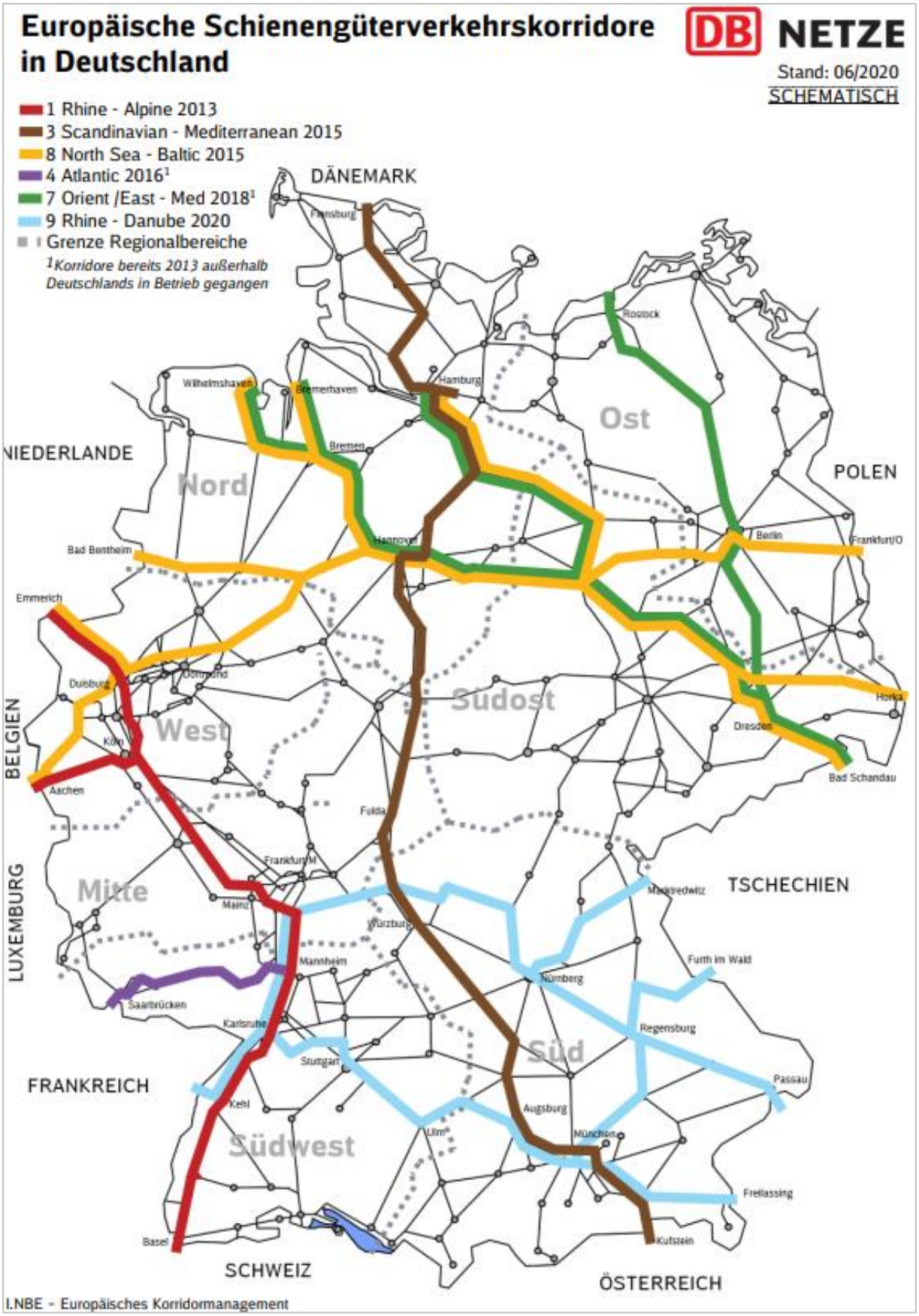

Abbildung 3-6 **Europäische Schienengüterverkehrskorridore in Deutschland im Bestandsnetz (Quelle: DB Netz AG)**

3.4 Intramodale und intermodale Verknüpfungspunkte

Während beim Schienenpersonenverkehr die intermodalen Verknüpfungspunkte, also Umsteigemöglichkeiten innerhalb des Systems Eisenbahn bereits über die im Netzmodell enthaltenen Bahnhalte abgebildet sind, mussten die Güterverkehrsstellen für den Schienengüterverkehr gesondert in das Basisnetz 2019 aufgenommen werden. Diese wurden anhand einer umfangreichen Literaturrecherche, Daten der Bundesnetzagentur und einer Auftragsmatrix der DB Cargo AG mit relationaler Angabe der beteiligten Güterbahnhöfe sowie im Falle singulärer Verkehrserzeuger durch Austausch mit Fachteil 2 der Verkehrsprognose 2040, hinsichtlich derer räumlichen Verteilung erarbeitet. Unter den Begriff der singulären Verkehrserzeuger fallen unter anderem Binnenhäfen, Kraftwerksstandorte, Bergwerke oder Raffinerien, die entsprechend als intramodale Verknüpfungspunkte mit ihren Anschlussbahnen/Übergabegleisen in das Netzmodell aufgenommen worden sind. Ebenfalls in das Netzmodell übertragen worden sind Hafeneisenbahnen in deutschen Seehäfen.

Ebenfalls Bestandteil des Basisnetzes 2019 sind sog. intermodale Verknüpfungspunkte des Schienenpersonen- und Schienengüterverkehrs. Hierbei handelt es sich um Übergänge zwischen der Schiene und den anderen Verkehrsträgern Straße, Luftverkehr und Wasserstraße. Hierfür gab es entsprechende Vorgaben vom Fachteil 2, die entsprechend im Fachteil 4 für das Netzmodell Schiene im Analysefall 2019 übernommen worden sind, so bspw. eine Liste der zu berücksichtigenden Terminals des Kombinierten Verkehrs in Bezug auf den Schienengüterverkehr. Nähere Ausführungen zu den intramodalen und intermodalen Verknüpfungspunkten können **Kapitel 2** des **VP2040-Bands 8.1 E: „Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse)“** entnommen werden.

3.5 Zusammenfassung

Im Basisnetz 2019 sind insgesamt 23.404 Knoten verfügbar, davon 10.358 in Deutschland. Die Anzahl der Kanten beläuft sich auf insgesamt 27.572 Kanten, davon 11.968 in Deutschland.

Im Basisnetz 2010 der Verkehrsprognose 2030 waren es seinerzeit 21.461 Knoten, davon 8.639 in Deutschland und 25.209 Kanten, davon 9.866 in Deutschland.

Während die Anzahl der Knoten und Kanten im Basisnetz 2019 der Verkehrsprognose 2040 daher verglichen mit dem Basisnetz 2010 der Verkehrsprognose 2030 insgesamt um jeweils rund 9 % wächst, kommt es mit rund +20 % (Knoten) bzw. rund +21 % (Kanten) zu einer deutlich überdurchschnittlichen Zunahme der Netzgranularität im Inland, was eine gesteigerte Detaillierung der Netzumlegungen des SPV und SGV ermöglicht.

Das resultierende Basisnetz 2019 kann als Übersicht **Abbildung 3-7** entnommen werden. Die Eisenbahnfährverbindungen sind als Kanten mit abgebildet.

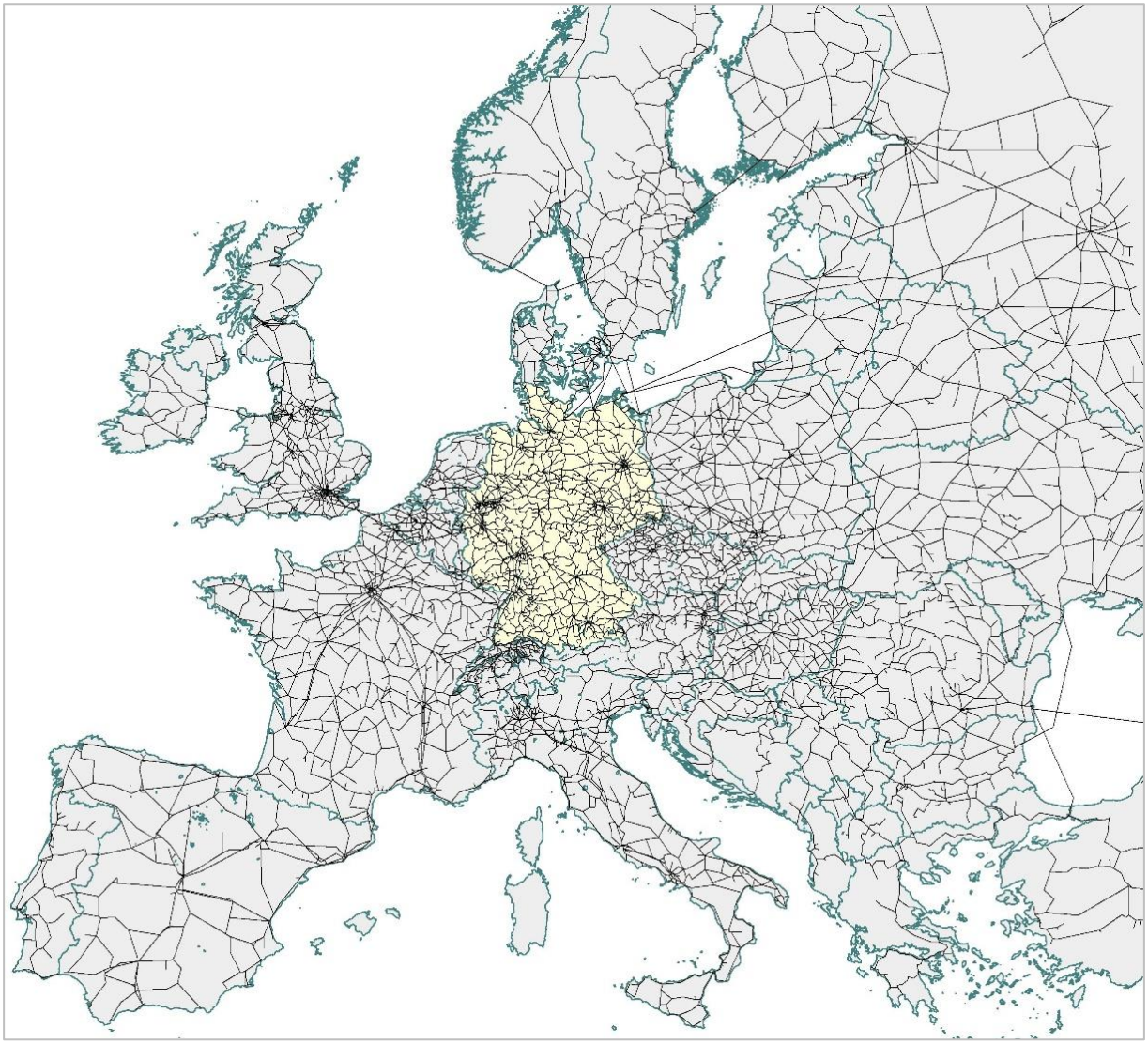

Abbildung 3-7 Überblick Basisnetz 2019

3.6 Qualitätssicherung

Bei der Erfassung des Basisnetzes 2019 wurde systematisch vorgegangen. Durch den Aufbau einer relationsbezogenen Datenbank wird eine vollständige, logische und konsistente Datenerfassung und Datenhaltung gewährleistet. Ebenfalls wurde bereits während der Erfassung eine berichtsähnliche interne Dokumentation angelegt, die ständig fortgeschrieben wurde und den Prozess der Erarbeitung des Basisnetzes aufzeichnet.

Für das „Teilnetz Deutschland“ wurde die Datenlieferung STREDA.X der DB Netz AG um diejenigen Bahnstrecken nichtbundeseigener Eisenbahninfrastrukturunternehmen ergänzt, welche sich über die Liste „Betreiber der Schienenwege“ des Eisenbahnbundesamtes identifizieren lassen. Hierbei wurde auf Schmalspur-, Zahnrad- und Museumsbahnstrecken verzichtet. Die Erfassung erfolgte mittels der einzelnen Schienennetz-Nutzungsbedingungen (SNB), um sich an offizielle Quellen zu halten. Auch für die Erfassung des „Teilnetzes Ausland“ wurden die verfügbaren länderspezifischen Network Statements sowie für Eisenbahnfährverbindungen insb. die Fahrpläne der Fährlinienbetreiber genutzt.

Ebenfalls wurden besonders gravierende Netzinkonsistenzen behoben, die sich im Basisnetz 2019 befunden haben. Diese waren auf Bahnhofsteile in großen Betriebsstellen zurückzuführen, welche im Netzmodell STREDA.X im Sinne des Infrastrukturregisters (ISR) der DB Netz AG nicht immer als eigenständige Netzknoten enthalten waren oder auf die nur im ISR genutzten Streckenübergänge. Die

Anpassung erfolgte hierbei im Abgleich mit den Unterlagen der DB Netz AG, um die Korrektheit Eigenschaften des Basisnetzes 2019 auch in den geänderten Knotenbereichen sicherzustellen.

Zu Zwecken der Qualitätskontrolle wurden weiter verschiedene Maßnahmen durchgeführt. So erfolgte eine mehrfache Sichtkontrolle der Charakteristika des Basisnetzes 2019, auch um die Lage der Knoten im Netz mit mehreren Karten- bzw. GIS-Diensten abzugleichen. Gleichzeitig wurden die als Streckeneigenschaft im Netzmodell befindlichen Streckenlängen mit den sich aus den Knotenkoordinaten ergebenden Luftlinienentfernungen verglichen. Eventuell vorhandene Ausreißer, die im Zuge der Netzpflege entstanden sind, konnten somit ausfindig gemacht werden. Übernommene Streckencharakteristika wie Traktion und Gleiszahl wurden mittels der jeweiligen Streckenkarten zu diesen Eigenschaften überprüft. Die Nutzung verschiedenster Quellmaterialien führt zu einer hohen Datengüte.

Nach erfolgter Übernahme und Einarbeitung der Netze STREDA.X, NE-Infrastruktur und, Ausland wurde das gesamte Netz auf seinen Zusammenhang hin geprüft. Über ein Programm wurden nicht zusammenhängende Teilnetze („Netzinseln“) ausfindig gemacht, die nicht mit dem restlichen Netz verbunden und somit von dort aus nicht erreichbar waren. Die Prüfung auf Netzinseln ist besonders beim Übergang von der Infrastruktur der DB Netz AG auf das der NE-Bahnen, sowie an Grenzpunkten zwischen zwei Ländern von Bedeutung.

Insgesamt wurden also mehrere externe Datenquellen für die Erstellung des Basisnetzes 2019 genutzt. Neben dem Netzmodell STREDA.X / ISR der DB Netz AG umfassten diese auch die Schienennetz-Nutzungsbedingungen der Eisenbahninfrastrukturunternehmen im In- und Ausland, die Netzmodelle aus VP 2030 bzw. des BVWP 2030, sowie die Eisenbahnatlanten von Schweers + Wall für Deutschland, die Schweiz, Österreich, Italien, Frankreich und Europa.

Durch eine Gegenprüfung und einen Abgleich der Netztopologie und der Netzattribute mit den Tabellen zur Istzug-Belastung (IBL) sowie der Trassenfinder der DB Netz AG konnten Auf-fälligkeiten und Fehler im Streckenmodell STREDA.X identifiziert und behoben werden.

Zwischen den Bearbeitern der Eisenbahnverkehrsprognose im Fachteil 4 und den Bearbeitern der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose im Fachteil 2 der Verkehrsprognose 2040 wurde durch intensiven Austausch sichergestellt, dass die intermodalen Verknüpfungspunkte hinsichtlich Anzahl und Lage untereinander harmonisiert sind und somit auch zu deren Berücksichtigung in den Netzmodellen der anderen Verkehrsträger kompatibel ist.

Im Zuge der an die Erarbeitung des Netzmodells für den Analysefall 2019 anschließenden Umlegungen des Schienenpersonen- bzw. Schienengüterverkehrs konnten darüber hinaus weitere Prüfungen der entsprechenden Netzparameter durchgeführt werden. Diese ermöglichten iterativ zusätzliche Kalibrierungsschritte zur weiteren qualitativen Verbesserung des Netzmodells. Hierunter fallen beispielweise die Berücksichtigung zusätzlicher Haltebahnhöfe im Netzmodell, welche sich aus den Linienverläufen des Schienenpersonenverkehrs ergeben sowie eine Prüfung der Kantenlängen und hinterlegten Streckengeschwindigkeiten im Falle unrealistisch niedriger bzw. hohe Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen zwei Halten bzw. Güterverkehrsstandorten.

4 Netzmodell Schiene für den Prognosefall 2040

Das Infrastrukturnetz für die Prognose baut auf den Status Quo im Analysejahr 2019 auf und berücksichtigt darüber hinaus die bekannten Planungen zum Aus- und Neubau der Infrastruktur.

In den Prämissen zum Prognosefall 1 „Basisprognose 2040“ hat das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) festgelegt, dass die „vollständige Realisierung des Zielfahrplans Deutschlandtakt bis 2040 (Infrastruktur und Verkehrsangebot Schiene)“ unterstellt wird. Dies bedeutet im Inland einen sehr umfangreichen Ausbauzustand zugrunde zu legen, dessen tatsächliche Realisierung aufgrund des Planungsstands der einzelnen Maßnahmen und des erforderlichen Investitionsvolumens voraussichtlich erst deutlich jenseits des Prognosehorizonts 2040 erfolgt sein wird.

Vor diesem Hintergrund wurden mit dem federführenden Referat E21 im BMDV Kriterien erarbeitet, wie mit Infrastrukturmaßnahmen aus aktuellen Investitionsprogrammen (z. B. aus dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz GVFG, dem Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr SHHV oder der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung LuFV), die nicht zum Maßnahmenportfolio des Zielfahrplans Deutschlandtakt gehören, umgegangen wird.

4.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Das Infrastrukturnetz zum Zielfahrplan Deutschlandtakt ist in den Anhängen des Schlussberichts zum Zielfahrplan Deutschlandtakt[35] beschrieben. Darin sind enthalten

» alle Maßnahmen des Vordringlichen Bedarfs des Bedarfsplans für die Bundesschienenwege,

» Vorgaben der Länder (z. B. Ausbauprogramme, Reaktivierungen, zusätzliche Halte), die teilweise im Rahmen der Erarbeitung des Zielfahrplans modifiziert worden sind,

» sonstige vorgegebene Maßnahmen oder in Bau befindliche Maßnahmen, z. B. eigenwirtschaftliche Maßnahmen der DB Netz AG, und

» fahrplanbasiert abgeleitete, für die Umsetzung des Zielfahrplans erforderliche Infrastrukturmaßnahmen.

Die Realisierung von Infrastrukturmaßnahmen der Schiene erfolgt nicht nur aus dem Bedarfsplan Schiene, sondern darüber hinaus aus weiteren Investitionsprogrammen:

» GVFG (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz)

» InvKG (Investitionsgesetz Kohleregionen)

» KSP (Klimaschutzpaket)

» SHHV (Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr)

» LuFV 8.7 (Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung, Anlage 8.7)

Die Entscheidung über die Aufnahme zusätzlicher Infrastrukturmaßnahmen aus diesen Investitionsprogrammen und die Kriterien, anhand derer jeweils entschieden wurde, werden nachfolgend beschrieben. Darüber hinaus wurden nur solche Maßnahmen berücksichtigt, soweit sie für den BVWP relevant sind. Die „BVWP-Relevanz“ ist dadurch definiert, dass durch die betreffende Maßnahme entweder

» die verfügbaren Trassenkapazitäten vergrößert,

» die Fahrzeiten für den SPV verkürzt und/oder

» Wechsel der Traktionsenergie ermöglicht werden.

---

35 https://downloads.ctfassets.net/scbs508bajse/7oB2P0qqjFPmrt6FSXSxsy/f2f48d117f4399a3b165cac6ebf4f179/2022-09-01_Abschlussbericht_Deutschlandtakt_3-00.pdf

4.2 Zu berücksichtigende Infrastrukturmaßnahmen im Inland

4.2.1 GVFG (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz)

4.2.1.1 Kommunale Vorhaben

Die kommunalen Vorhaben innerhalb des GVFG dienen vorrangig dem ÖPNV. Relevant für die Prognose 2040 sind dagegen nur die Maßnahmen, die ganz oder teilweise den Geltungsbereich der EBO (Eisenbahnbau- und Betriebsverordnung), d. h. die regelspurigen Eisenbahnen, betreffen. Für die Prüfung der Aufnahme zusätzlicher Infrastrukturmaßnahmen wurde der Entwurf des Bundesprogramms 2022-2026 mit Stand Oktober 2022 ausgewertet. Berücksichtigt wurden nur endgültig aufgrund eines geprüften Finanzierungsantrags aufgenommene Maßnahmen (Kategorie „a“-Maßnahmen).

Nahezu alle kommunalen Maßnahmen aus dem aktuellen Bundesprogramm, die

» BVWP-relevant sind,

» in Kategorie „a“ eingeordnet sind und

» das regelspurige Eisenbahnnetz betreffen

sind bereits im Zielfahrplan des Deutschlandtakts enthalten.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurde die Elektrifizierung und Ertüchtigung der AKN-Strecke Kaltenkirchen – Hamburg-Eidelstedt für den S-Bahn-Betrieb.

4.2.1.2 DB-Vorhaben

Bei den DB-Vorhaben innerhalb des GVFG wurde von der DB Netz AG der aktuelle Planungsstand zum Stand Oktober 2022 mitgeteilt. Für die Prüfung der Aufnahme zusätzlicher Infrastrukturmaßnahmen wurden nur Maßnahmen mit abgeschlossener Vorplanung berücksichtigt. Die entsprechenden DB-Maßnahmen sind bereits überwiegend im Zielfahrplan des Deutschlandtakts enthalten.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen werden folgende Maßnahmen, die nicht oder nur teilweise im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» S-Bahn Berlin, S 21, 1.und 2. Baustufe

» S-Bahn Berlin, Lückenschluss (Lichtenrade) – Blankenfelde, Bf. Blankenfelde

» S-Bahn Hamburg, Station Hamburg-Elbbrücken

» Nahschnellverkehr Rhein-Neckar, 2. Baustufe

» Elektrifizierung Strecke Velgast (a) – Barth – Prerow (Darßbahn)

» durchgehend zweigleisiger Ausbau der Weddeler Schleife

» Elektrifizierung und Ausbau der Voreifelbahn (Bonn Hbf – Euskirchen – Bad Münstereifel, siehe auch 2.1.3)

» BEMU-Nachladeinfrastruktur in Heide, Husum und Tönning

4.2.1.3 Beseitigung Hochwasserschäden

Für einen schnellen Wiederaufbau der vom Hochwasser zerstörten Eisenbahnstrecken wurden neben der Bereitstellung umfangreicher Bundesfinanzhilfen im Rahmen des Fonds "Aufbauhilfe 2021" auch Planungsbeschleunigungsmaßnahmen ergriffen, mit denen ein klimafreundlicher Ausbau (z. B. Elektrifizierung) anteilig aus Mitteln des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes (GVFG) gefördert werden kann. Finanzierungsvereinbarungen für die Elektrifizierung wurden bereits im Jahr 2022 geschlossen.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurden folgende Maßnahmen, die nicht oder nur teilweise im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» Elektrifizierung Hürth-Kalscheuren – Ehrang

» Elektrifizierung Bonn – Euskirchen (siehe auch 2.1.2)

» Elektrifizierung Euskirchen – Bad Münstereifel (siehe auch 2.1.2)

4.2.2 InvKG (Investitionsgesetz Kohleregionen)

Für die Prüfung der Aufnahme zusätzlicher Infrastrukturmaßnahmen aus dem InvKG wurden die aktualisierten Steckbriefe der DB AG mit Stand Februar 2022 ausgewertet. Grundsätzlich wurden alle Maßnahmen unabhängig von ihrem Planungsstand berücksichtigt, sofern sie für den BVWP relevant sind. Diese Maßnahmen sind zu einem größeren Teil bereits im Zielfahrplan des Deutschlandtakts enthalten.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurden folgende Maßnahmen, die nicht oder nur teilweise im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» Bf Königs Wusterhausen

» Cottbus – Forst

» Graustein – Spreewitz

» Knoten Falkenberg

» Knoten Ruhland

» Cottbus – Guben – Grünberg

» Berlin – Cottbus – Görlitz (– Breslau)

» Aachen – Köln

» S-Bahn Rheinisches Revier (Abschnitt Ost)

» Arnsdorf – Kamenz – Hosena (– Hoyerswerda – Spremberg)

» Naumburg – Halle

» S-Bahn Leipzig – Pegau – Zeitz – Gera

4.2.3 KSP (Klimaschutzpaket)

Aus dem Klimaschutzpaket wurden die Maßnahmen des Startportfolios und der 2. Tranche (jeweils mit Stand November 2021), des überarbeiteten Maßnahmenpakets zum „Halbstundentakt“ (Stand Februar 2022), des Sofortprogramms Seehafen-Hinterlandverkehr sowie des Programms „Elektrische Güterbahn“ ausgewertet.

Grundsätzlich wurden alle Maßnahmen des Startportfolios und der 2.-4. Tranche mit Relevanz für den BVWP berücksichtigt.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurden folgende Maßnahmen, die nicht im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» Optimierung der Blockteilung Berlin Südkreuz – Ludwigsfelde

» Blockverdichtung zwischen Berlin Greifswalder Straße – Berlin Frankfurter Allee

» Blockverdichtung Berlin-Gesundbrunnen – Berlin-Blankenburg (Fernbahn)

» Verlängerung des Überholungsgleises in Bonn Bad Godesberg Nord

» Verlängerung der Überholungsgleise in Bonn Neuer Weg

» Überholgleisverlängerung und Spurplanpassung in Viersen-Helenabrunn

- Parallele Überleitmöglichkeit zwischen den Strecken 1700 und 2990 im Ostkopf von Minden Gbf
- Blockverdichtung Burgsinn – Jossa
- Zusätzliche Bockteilung im Gegengleis zwischen Retzbach-Zellingen und Karlstadt
- Zusätzliche Bocksignale im Gegengleis zwischen Retzbach-Zellingen und Thüngersheim
- Blockverdichtung im Abschnitt Emskirchen – Hagenbüchach
- Neue Überleitstelle bei Puschendorf
- Neue Überleitstelle bei Strahlbach
- Neue Überleitstelle bei Hellmitzheim
- Einrichtung zweier zusätzlicher Überleitstellen zwischen Neumarkt und Ochenbruck
- Blockverdichtung im Abschnitt Ochsenfurt – Marktbreit
- Blockverdichtung im Abschnitt Ansbach – Lehrberg
- Verbindungskurve Schweinau zwischen den Strecken 5902 und 5950
- Blockoptimierung im Abschnitt Schlüchtern – Flieden
- Blockoptimierung zwischen Frankfurt-Louisa und Main-Neckar-Brücke
- Weitere Überleitstellen in Mülheim (Ruhr)-Heißen (zwischen Fern- und S-Bahn)
- Blockverdichtungen auf den Strecken 2730 und 2650 nördlich von Köln-Mülheim
- Neue Überleitstellen in Bardowick zwischen den Strecken 1720 und 1153
- Geschwindigkeitserhöhung Ausfahrt Lüneburg Gbf in Richtung Süden
- Neue Überleitstelle Emmendorf
- Neue Überleitstelle Mörfelden
- Neue Überleitstelle Groß-Gerau-Dornberg
- Neue Überleitstelle Bürstadt
- Zusätzlicher Bahnsteig Elstal und Spurplananpassung in Wustermark Rbf inkl. ESTW
- Zusätzliche Überleitstelle im Abschnitt Undorf – Beratzhausen
- Zusätzliche Überleitstelle im Abschnitt Regensburg Bbf – Undorf
- Zusätzliche Überleitstelle im Abschnitt Sünching – Mangolding
- Zusätzliche Weichenverbindungen im Abschnitt Straubing – Radldorf
- Zusätzliche Weichenverbindungen im Abschnitt Straßkirchen – Straubing
- Zusätzliche Überleitstelle im Abschnitt Plattling – Straßkirchen
- Zusätzliche Überleitstelle im Abschnitt Osterhofen – Plattling
- Kapazitätssteigernde Maßnahmen in Passau Gbf/Hbf (Schaffung paralleler Fahrmöglichkeiten)

Aus dem Maßnahmenpaket zum „Halbstundentakt“ wurden alle neuen oder gegenüber dem Zielfahrplan veränderten Maßnahmen in das Prognosenetz aufgenommen:

- Herstellung gleichzeitiger Einfahrten in Friedberg (b. Augsburg)
- Herstellung gleichzeitiger Einfahrten in Oppenweiler
- Verlängerung Gleis 258 für 740 m Züge in Fulda Gbf
- Mittiges Überholgleis im Bereich Westheim / Neusäß

Aus dem Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr wurden die noch nicht begonnenen Maßnahmen der Stufen SHHV II und die Maßnahmen der geplanten Stufe SHHV III auf Basis der jeweiligen Maßnahmenblätter ausgewertet. Grundsätzlich wurden alle Maßnahmen mit Relevanz für den BVWP berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurden dagegen Maßnahmen, deren Finanzierung über die LuFV (Leistung- und Finanzierungsvereinbarung) erfolgen soll (siehe Kap. 2.5).

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurden folgende Maßnahmen, die nicht im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» Blockverdichtung Pechbrunn – Marktredwitz

» Blockverdichtung Wernberg – Weiden inkl. Wernberg

» Regensburg Ost, Schaffung einer zusätzlichen Gleisverbindung

» Hamburg-Aumühle, Bau von zwei 750m langen elektrifizierten Überholungsgleisen

» Offenburg, Maßnahmenpaket zur Kapazitätserweiterung

» Ubf Ulm, Neubau eines zweiten Umschlagmoduls inkl. südlicher Gleisanbindung

» Ubf Regensburg, Neubau eines zweiten Umschlagmoduls

» Frankfurt/Main-Stadion – Riedbahn – Mannheim Hbf, Block- und Geschwindigkeitsoptimierung

Das Programm „Elektrische Güterbahn“ enthält acht förderfähige Vorhaben mit einer Streckenlänge von insgesamt rund 200 km. Davon waren die drei Maßnahmen Neuburxdorf – Mühlenberg (Elbe), Tiefenbroich – Rohdenhaus und Duisburg Hochfeld Süd – DU-Mannesmann vorläufig zurückgestellt.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurden folgende Maßnahmen, die nicht im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» Elektrifizierung Oebisfelde – Glindenberg

» Elektrifizierung Wilhelmshaven Ölweiche – Wilhelmshaven Nord

» Elektrifizierung Gerstungen – Heimboldshausen

» Elektrifizierung Borstel – Niedergörne

4.2.4 LUFV 8.7 (Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung, Anlage 8.7)

Die DB Netz AG hat für die Auswertung der LUFV-Maßnahmen das vollständige Programm der LuFV **Anlage 8.7** (mit Stand Juni 2022) zur Verfügung gestellt. Grundsätzlich wurden alle Maßnahmen mit abgeschlossener Vorplanung berücksichtigt, die für den BVWP relevant sind. Die entsprechenden Maßnahmen sind bereits überwiegend im Zielfahrplan des Deutschlandtakts enthalten.

Zusätzlich in das Prognosenetz aufgenommen wurden folgende Maßnahmen, die nicht im Zielfahrplan Deutschlandtakt enthalten sind:

» Blockverdichtung Ulm – Erbach

» Geschwindigkeitserhöhung Schrozberg – Crailsheim

» Steigerung der Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität Salzburg – Rosenheim – Kufstein

» Neubau Üst Artlkofen

» Neubau Üst Bruckbergerau

» Straubing - Bogen

» Berlin – Frankfurt (Oder), Neubau 3. Streckengleis für Regionalbahnhof Köpenick

- S-Bahn Berlin, S 1 Humboldthain - Wannsee
- Vorhaben Wetterau (Friedberg - Nidda)
- Neubrandenburger Kreuz, 1. BA
- Abzweig Schmiedekamp
- Reaktivierung Langenlonsheim – Flughafen Hahn
- Komplettierung Elektrifizierung von Wemmetsweiler Kurve bis Bhf Illingen
- Strecke Werdau – Plauen (V) ob. Bf
- Horka Pbf
- Sebnitz – Bad Schandau
- Güsten – Sangerhausen

4.2.5 Streckenreaktivierungen

Das BMDV hat die Länder im April 2022 um Auskunft über geplante Reaktivierungen von für den SPV stillgelegten regionalen Eisenbahnstrecken im Hinblick auf die laufenden Arbeiten zur Verkehrsprognose 2040 gebeten.

Bei der Auswertung wurden nur Maßnahmen mit abgeschlossener Vorplanung berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurden dagegen alle Maßnahmen, die bereits in existierenden Investitionsprogrammen enthalten sind (siehe **Kapitel 2.1-2.4**).

Alle verbleibenden Vorschläge zu regionalen Streckenreaktivierungen sind bereits Bestandteil des Zielfahrplans Deutschlandtakt.

4.3 Zu berücksichtigende Infrastrukturmaßnahmen im Ausland

Zur Festlegung der im Ausland zu berücksichtigenden Infrastrukturmaßnahmen wurden die Annahmen aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 überprüft. Hierzu wurden

» öffentlich zugängliche Quellen (Internetrecherche) und

» der Informationsstand aus bilateralen Gesprächen des BMDV ausgewertet sowie

» die Nachbarländer einschließlich Italiens und Sloweniens durch das BMDV um Auskünfte zum geplanten Infrastrukturausbau der Eisenbahnen ersucht.

Nahezu alle angefragten Länder (außer Frankreich und Italien) haben sich rückgeäußert und die angefragten Unterlagen zur Verfügung gestellt.

Aus den Rückmeldungen und Recherchen wurden alle noch nicht fertiggestellten Maßnahmen berücksichtigt, sofern sie für die Prognose in Deutschland relevant und ihre wesentlichen Planungsparameter festgelegt sind sowie bei grenzüberschreiten Projekten die korrespondierenden Maßnahmen in Deutschland Bestandteil des Prognosenetzes (siehe **Kapitel 2**) sind.

Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete berücksichtigt:

» TEN-V-Korridore, Kernnetz

» Dänemark

- Feste Querung des Fehmarnbelts einschließlich der Hinterlandanbindung in Dänemark
- Neubau Kopenhagen – Koge – Ringsted
- Ausbau Jütlandlinie
- Elektrifizierung Hauptstrecken
- Neubau Odense – Middelfart
- Ausbau Ringsted – Odense
- Ausbau Arhus – Langa

» Polen

- Krzyz – Gorzow – Kostrzyn – Grenze PL/D (– Berlin) (Ostbahn)
- Solidarity Transport Hub (CPK) inklusive Neubaustrecken im Zulauf
- Ausbaustrecke Poznan – Berlin
- Ausbau Zielona Góra – Gubin / Guben
- Ausbau Żagań – Żary – Forst (Lausitz)
- Ausbau Wroclaw – Wegliniec – Grenze PL/D (– Görlitz)
- Ausbau Szczecin – Grenze PL/D (– Angermünde)
- Ausbau Wegliniec – Zielona Góra
- Rail Baltica (inkl. Fortsetzung über Litauen und Lettland nach Estland)

» Tschechien

- Neubau Praha – Brno
- Ausbau Brno – Přerov
- Neubau Brno – Přerov
- Neubau Přerov – Ostrava
- Neubau Ostrava – Grenze CZ/PL (– Katowice)
- Neu-/Ausbau Brno – Breclav
- Ausbau Břeclav – Grenze CZ/A (– Wien)
- Ausbau Břeclav – Grenze CZ/SK (– Bratislava)
- Ausbau Praha – Plzeň (Tunnel Praha – Beroun)
- Neubau (Dresden –) Grenze D/CZ – Praha
- Neubau Praha – Hradec Králové
- Neubau Praha – Václav Havel Airport Prag
- Neubau Nelahozeves Tunnel
- Ausbau Praha – Plzeň
- Ausbau Plzeň – Cheb

  - Ausbau Cheb – Grenze CZ/D
  - Ausbau Plzen – Domažlice – Grenze CZ/D
  - Ausbau Děčín – Všetaty – Kolín
  - Ausbau Velký Osek – Hradec Králové – Choceň
  - Neubau Choceň – Ústí nad Orlicí
  - Ausbau Kolín – Brno
  - Umbau Gesamtnetz auf 25 KV
  - 740 m auf TEN-T-Korridoren
  - Umbau Gesamtnetz auf ETCS

» Österreich

  - Westbahn: viergleisiger Ausbau Wien – Linz – Wels
  - Brennerbasistunnel
  - Ausbau Kufstein – Wörgl
  - NBS/ABS Graz – Klagenfurt inkl. Koralmtunnel
  - Ausbau Nordbahn
  - Ausbau Wien – Marchegg (– Bratislava)
  - Ausbau Flughafenspange
  - Westbahn: Ausbau Wels – Salzburg
  - Ausbau Pottendorfer Linie
  - Semmering-Basistunnel
  - Ausbau Linz – Selzthal
  - Ausbau Neumarkt-Kallham – Braunau/Inn (– Simbach)
  - Friedburg – Braunau/Inn, Elektrifizierung & Attraktivierung
  - Ausbau Lochau – Bregenz – Lustenau
  - Ausbau Pass Lueg
  - Brenner – Nordzulauf
  - Schleife Selzthal
  - Ausbau Südbahn Graz – Peggau
  - Ausbau Graz – Spielfeld
  - Ausbau Ostbahn
  - Flughafen Westspange

» Slowenien

  - Ausbau Jesenice – Ljubljana – Divaca
  - Neubau Divaca – Koper

» Italien

  - Ausbau Verona – Brennero inkl. Brennerbasistunnel
  - Neubau/Ausbau Milano – Verona – Padua – Venedig
  - Neubau Lyon – Turin
  - Ausbau Mailand – Genua
  - Ausbau Turin – Genua bis 200 km/h
  - Programm 4mK (siehe Schweiz)
  - Ausbau Rom – Pescara

» Schweiz

  - Neubau Bellinzona – Ceneri-Basistunnel – Lugano
  - Ausbauschritt 2025
  - Ausbauschritt 2035
  - Programm ZEB
  - Programm 4mK

» Frankreich

  - Neubau Lyon – Turin
  - Anbindung Flughafen Basel – Mulhouse

» Luxemburg
  – Ausbau Luxembourg – Wasserbillig – Grenze LUX/D (– Trier)

» Belgien
  – Ausbau Herentals – Grenze B/NL (– Weert) (3RX)
  – Ausbau Gent – Terneuzen
  – Ausbau Antwerp port railway

» Niederlande
  – Ausbau (Herentals –) Grenze B/NL – Weert (3RX)
  – Ausbau Elst – Arnhem – Deventer - Hengelo – Oldenzaal
  – Ausbau Meteren – Boxtel (Bypass Süd)
  – Ausbau Roermond – Venlo – Nijmegen (Maaslijn)
  – Neubau Verbindungskurve Roermond (3RX)
  – Neubau Amsterdam – Lelystad – Groningen (Lelylijn)
  – Ausbau Groningen – Grenze NL/D (– Bremen)
  – Elektrifizierung Zutphen – Hengelo
  – Elektrifizierung Almelo – Marienberg

4.4 Fortschreibung des Basisnetzes für den Analysefall 2019 auf das Basisnetz für den Prognosefall 1 „Basisprognose 2040“

Das für den weiteren Prognoseprozess und die Umlegungen des Schienenpersonen- bzw. Schienengüterverkehr im Rahmen der Basisprognose 2040 benötigte Netzmodell, das Basisnetz 2040, wurde aus dem Basisnetz 2019 abgeleitet. Hierzu wurden die für den Prognosefall 1 der Basisprognose 2040 abgestimmten Infrastrukturmaßnahmen im In- und Ausland (vgl. **Kapitel 4.2** und **Kapitel 4.3**) in der erforderlichen Bearbeitungstiefe in das Basisnetz 2019 eingearbeitet. Der strukturelle Aufbau der Knoten- und Kanten-Relationen ist hierbei unverändert übernommen worden und entspricht den unter **Kapitel 3.1.1** dargestellten Attributen. Da das Netzmodell für die Basisprognose 2040 aufbauend auf demjenigen des Analysefalls 2019 erstellt worden ist, ist eine Kompatibilität der beiden Netzmodelle zueinander sowohl hinsichtlich der enthaltenen Knoten und Kanten als auch der entsprechend hinterlegten Attribute gegeben.

Somit stellt auch das Basisnetz 2040 ein vollständiges makroskopisches Netzmodell dar, das sowohl für die Umlegungen des Schienenverkehrs genutzt als auch intermodal mittels der aus den Umlegungen des Schienenverkehrs resultierenden Widerstandsmatrizen zur Modellierung der bundesweiten Verkehrsverflechtungen im Rahmen der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose 2040 genutzt werden kann. Die für die Umlegung notwendige Modellierung und die Umlegung der Basisprognose 2040 werden im **Kapitel 3** des **VP2040-Bands 8.1 E (Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse))** beschrieben.

4.4.1 Inland

Das Basisnetz 2040 enthält dabei neben weiteren kleineren Ergänzungen alle Maßnahmen des 3. Gutachterentwurfs des Deutschlandtakts[36], der somit mit Abstand dessen hauptsächliche infrastrukturelle Grundlage darstellt. Da die an der Eisenbahnverkehrsprognose 2040 beteiligten Gutachterbüros Intraplan und TRIMODE auch die wirtschaftliche Bewertung des Deutschlandtaktes durchgeführt haben[37], konnte zur Vereinfachung und Beschleunigung des Prozesses auf die dortigen

---

36 SMA und Partner AG, Intraplan Consult GmbH, VIA Consulting & Development GmbH, in Kooperation mit TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH; Zürich/München/Aachen/Freiburg: Abschlussbericht zum Zielfahrplan Deutschlandtakt. Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung; 2022

37 Intraplan Consult GmbH, TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH; München/Freiburg; Deutschlandtakt. Bewertung Infrastrukturmaßnahmen für den 3. Gutachterentwurf; 2021

Vorarbeiten zurückgegriffen werden. Die Maßnahmen des Deutschlandtaktes lagen daher bereits im für die Bearbeitung benötigten Detaillierungsgrad vor und konnten entsprechend in das Basisnetz für den Prognosefall 1 der Basisprognose 2040 überführt werden.

Zusätzliche, über den Maßnahmenumfang des Deutschlandtaktes hinausgehende Maßnahmen im Inland lassen sich (siehe oben) in die folgenden Bereiche kategorisieren:

» GVFG (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz)

» InvKG (Investitionsgesetz Kohleregionen)

» KSP (Klimaschutzpaket)

» SHHV (Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr)

» LuFV 8.7 (Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung, **Anlage 8.7**)

Die für das Basisnetz 2040 relevanten Maßnahmen nach GVFG sind bereits nahezu vollständig über das Maßnahmenset des Deutschlandtaktes abgedeckt und konnten entsprechend direkt ins Netzmodell Schiene für die Basisprognose 2040 übertragen werden. Für die zusätzlich zu übernehmenden Maßnahmen (kommunale Vorhaben und Vorhaben der DB) lagen bereits aus früheren Untersuchungen bzw. durch öffentlich zugängliche Materialien (von beispielsweise DB, privaten EIU bzw. Genehmigungsbehörden) ausreichende Informationen vor, so dass auch hier eine einfache Übernahme in das Basisnetz 2040 möglich war. Für die im Rahmen des Wiederaufbaus von Bahnstrecken nach der Flutkatastrophe im Ahrtal im Jahr 2021 zu elektrifizierenden und noch nicht über den Deutschlandtakt abgedeckten Strecken Hürth-Kalscheuren – Trier-Ehrang und Bonn – Euskirchen – Bad Münstereifel gibt es ebenfalls Projektinformationswebseiten der DB (https://www.eifel-strecke.de/), welche für die Übernahme ins Netzmodell herangezogen worden sind.

Für die die vom Bund-Länder-Koordinierungsgremium im Rahmen des Investitionsgesetzes Kohleregionen umzusetzenden Maßnahmen zur Strukturstärkung im Bereich der Braunkohleabbaugebiete wurden den Gutachtern projektspezifische Streckbriefe übergeben, welche die jeweiligen Maßnahmen in einem für die Übernahme ausreichendem Umfang beschreiben und entsprechend Anwendung gefunden haben.

Im Basisnetz 2040 wird eine Vielzahl von sogenannten Kleinen und Mittleren Maßnahmen (KuMM) berücksichtigt, die vor allem entlang Überlasteter Schienenwege (ÜLS) vorgesehen sind. Diese stammen aus dem Startportfolio sowie der 2. bis 4. Tranche des Klimaschutzpaketes (KSP). Darüber hinaus werden auch Maßnahmen dem Maßnahmenpaket zum Halbstundentakt, dem Sofortprogramm für den Seehafen-Hinterlandverkehr sowie Elektrifizierungsprojekte aus dem Programm Elektrische Güterbahn unterstellt. Auch zu diesen über den Deutschlandtakt hinaus neu ins Basisnetz 2040 aufzunehmenden Maßnahmen wurden den Gutachtern Beschreibungen und Präsentationen für die Übernahme ins Netzmodell übergeben. Darüber hinaus konnten zur Modellierung der Kleinen und Mittleren Maßnahmen auch die Pläne zur Erhöhung der Schienenwegkapazität (PEK) für die als überlastet erklärten Schienenwege herangezogen werden, da diese dort näher beschrieben sind.

Die Übernahme der Maßnahmen nach LuFV 8.7 konnte anhand einer übergebenen Übersichtstabelle bestimmt und hinsichtlich der zu hinterlegenden Parameter durchgeführt werden. Vereinzelt war es hierzu jedoch notwendig, gewisse Attribute seitens der Gutachter zu bestimmen, da diese nicht vollständig aus den verfügbaren Unterlagen hervorgingen.

Da die im Basisnetz 2040 zu unterstellten Streckenreaktivierungen bereits alle über den Deutschlandtakt abgedeckt sind, waren hier keine zusätzlichen Maßnahmen zu berücksichtigen.

4.4.2 Ausland

Für die Maßnahmen im Ausland wurden die nationalen Verkehrsministerien der deutschen Nachbarstaaten sowie weiter angrenzender Länder kontaktiert und um Beschreibung ihrer bis zum Prognosehorizont 2040 geplanten Infrastrukturmaßnahmen gebeten. Hierzu wurde eine formalisierte Datenmaske in Form einer Excel-Tabelle an die ausländischen Vertreter übergeben, welche diese füllen

sollten. Abgefragt wurden neben den betroffenen Streckenbereichen die Länge des jeweiligen Abschnittes, die im Ausbauzustand vorgesehene Gleiszahl und Streckenhöchstgeschwindigkeit, sowie dazu weitere für die Umlegung relevante Attribute wie die geplante Nutzung für SPV und/oder SGV oder die erreichbaren Zuglängen bzw. das Stromsystem.

Die Qualität der Rückläufer ist überwiegend als ausreichend zur Übernahme in das Netzmodell des Basisnetzes 2040 zu betrachten. Teilweise wurden jedoch manche der erfragten Attribute nicht in die Tabelle eingetragen bzw. ein Rücklauf blieb aus, so dass für diese Projekte eine intensivere Internet-Recherche, bspw. auf den jeweiligen Seiten der nationalen Verkehrsministerien bzw. Eisenbahninfrastrukturunternehmen, Pressemitteilungen oder GIS-Tools wie der OpenRailwayMap notwendig gewesen sind.

Die Angaben aus Dänemark, den Niederlanden, Belgien, Luxemburg, Österreich und der Tschechischen Republik waren überwiegend vollständig und direkt wie geliefert für die Umsetzung der Maßnahmen geeignet. Die von Frankreich genannten Maßnahmen sind grenzüberschreitende bzw. Gemeinschaftsprojekte von binationalem Interesse (Neubaustrecke Lyon – Turin bzw. Schienenanbindung des EuroAirport Basel-Mulhouse-Freiburg), so dass auch hier zusätzliche Informationen aus weiteren Datenquellen zur Verfügung standen.

Aus der Schweiz gab es keinen gesonderten Rücklauf, so dass die Bestimmung und Ausgestaltung der Infrastrukturmaßnahmen des Basisnetzes 2040 über andere Wege erfolgen mussten. Das Schweizer Bundesamt für Verkehr (BAV) verwies hierzu auf die verfügbaren Standberichte zu den Eisenbahngroßprojekten, welche über den Bahninfrastrukturfonds (BIF) finanziert werden. Dies sind die Ausbauprogramme „Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur (ZEB)“, „Ausbauschritt 2025 (AS25)“ und „Ausbauschritt 2035 (AS35)“. Hierüber konnten die Maßnahmen, welche für Deutschland und die Verkehrsprognose 2040 von Relevanz sind, ausreichend detailliert identifiziert werden. Ergänzt wurden diese um noch offene Teilprojekte des Programms „Neue Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT)“, was gegenüber dem Basisnetz 2019 insb. den Ceneri-Basistunnel samt dessen Anbindungsstrecken umfasst, sowie um die Maßnahmen des Programms „4-Meter-Korridor (4mK)“, zur Herstellung einer durchgängigen Befahrbarkeit von Kombinierten Verkehren mit 4 Metern Eckhöhe im alpenquerenden Güterverkehr.

Auch aus Italien konnte kein Rücklauf verzeichnet werden. Die Maßnahmen des Basisnetzes 2040 mussten daher von den Gutachtern anhand einer Übersicht der Infrastruktur-Großprojekte auf der Unternehmenswebseite des staatlichen italienischen Eisenbahn-Infrastrukturunternehmens Rete Ferroviaria Italiana (RFI) nebst deren eigenständigen projektspezifischen Projektwebseiten erarbeitet werden. Für die Deutschland besonders betreffenden Maßnahmen des Brennerbasistunnels sowie des Brennersüdzulaufs konnte darüber hinaus auf eine Unterlage des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)[38] aufgesetzt werden, die gemeinsam mit den Verkehrsministerien aus Deutschland und Italien, sowie den Infrastrukturbetreibern DB Netz AG, ÖBB-Infrastruktur AG und Rete Ferroviaria Italiana sowie der „Galleria di Base del Brennero – Brenner Basistunnel BBT SE“ als Bauherrin des Brennerbasistunnels herausgegeben wurde[39].

Die Zulieferung aus Polen war überwiegend vollständig. Mit dem im Raum Warschau geplanten Bau des Zentralflughafens CPK (Centralny Port Komunikacyjny) geht ein sehr expansiv geplanter Aus- und Neubau des polnischen Eisenbahnnetzes einher, der aufgrund seiner Relevanz für das Fernverkehrsnetz ebenfalls im Basisnetz 2040 zu berücksichtigen war. Entsprechend wurde hier eine zusätzliche Projektliste für die CPK-relevanten Infrastrukturmaßnahmen übergeben. Für die Übernahme dieser Projekte wurden die auf der CPK-Projektwebseite verfügbaren Machbarkeitsuntersuchungen, Studien und Projektwebseiten zu den einzelnen Maßnahmen, insbesondere für die diversen Neubaustrecken im Zulauf auf den CPK (Hub and Spoke / Nabe-Speiche-System) als Grundlage herangezogen. Die in der polnischen Zulieferung aufgeführte Aus- und Neubaustrecke „Rail Baltica“

---

38 Mittlerweile umbenannt in Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

39 Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Scan Med Corridor. Alpenraum, Ein neuer Verkehrsweg für Europa, Wien, 2016.

wurde hierbei auf voller Länge zwischen Bialystok (Polen) und Tallinn (Estland) via Kaunas (Litauen, mit Abzweig nach Vilnius) und Riga (Lettland) ins Netzmodell aufgenommen.

Die slowenische Regierung hatte die Datenmaske nicht ausgefüllt. Sie verwies stattdessen auf ein insgesamt 265-seitiges Dokument zur „Transport Development Strategy of the Republic of Slovenia Until 2030“, welches die großen Leitlinien der slowenischen Verkehrsinfrastrukturpolitik der kommenden Jahre beschreibt. Im Ergebnis wurden der Ausbau zwischen Jesenice, Ljubljana und Divaca sowie der Neubau zwischen Divaca und Koper zur Verbesserung der bahnseitigen Anbindung des Seehafens in Koper als prognoserelevante Maßnahmen identifiziert und in das Netzmodell übernommen.

Des Weiteren wurde das jeweilige „Corridor Information Document“ (CID) der Deutschland bzw. die Verkehrsprognose 2040 betreffenden europäischen Kernnetzkorridore hinsichtlich weiterer bereits geplanter und somit ins Netzmodell zu übertragender Infrastrukturmaßnahmen gesichtet und diese entsprechend aufgenommen. Da die EU-Leitlinien für den Aufbau des transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-V) vorsehen, dass zum Prognosezeitpunkt 2040 das Kernnetz und das erweiterte Kernnetz realisiert sein und den TEN-Standards entsprechen sollen, wurde daher für die TEN-V-Kernnetzkorridore eine Befahrbarkeit für Züge bis 740 m Zuglänge unterstellt. Eine durchgängige Befahrbarkeit für Verkehre mit dem KV-Profil P400 (entsprechend der Ziele des 4-Meter-Korridor-Programms in der Schweiz) wurde jedoch nicht im Netzmodell berücksichtigt, da diese auch in der im Dezember 2023 im Grundsatz abgestimmten Überarbeitung der TEN-V-Richtlinien[40] nicht als verbindliches Ziel festgeschrieben wurde. Mittlerweile (Juni 2024) wurde die TEN-V-Richtlinie entsprechend der im Dezember 2023 abgestimmten Form verabschiedet[41], so dass diese sich diese Entscheidung im Nachhinein als richtig erwiesen hat.

Die Eisenbahnfähren für die Basisprognose 2040 wurden überwiegend unverändert aus dem Analysefall 2019 übernommen. Anhand Fahrplandaten der Fährlinienbetreiber wurden sie auf zwischenzeitlich eingetretene Veränderungen hin überprüft und entsprechend angepasst. Im besonderen Fall der Vogelfluglinie zwischen Puttgarden (DE) und Rødby (DK) wurde unterstellt, dass die im Basisnetz 2040 unterstellte Feste Fehmarnbeltquerung die im Analysenetz 2019 noch vorhandene Eisenbahnfährverbindung vollständig ersetzt.

4.4.3 Intramodale und intermodale Verknüpfungspunkte

Auch für die Basisprognose 2040 waren die intermodalen und intramodalen Verknüpfungspunkte zu aktualisieren. Für den Schienenpersonenverkehr stellen die gemäß Linienkonzept im Netzmodell zu berücksichtigenden Personenverkehrshalte die Umsteigemöglichkeiten innerhalb des Systems Eisenbahn dar. Für den Schienengüterverkehr mussten Neuansiedlungen von Produktionsstätten, Standortschließungen und weitere Veränderungen der Güterverkehrsstellen im Netzmodell berücksichtigt werden. Vom Fachteil 2 der Verkehrsprognose 2040, der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose wurden darüber hinaus die neu zu erfassenden intermodalen Verknüpfungspunkte vorgegeben und entsprechend im Basisnetz 2040 berücksichtigt. Nähere Ausführungen zu den intramodalen und intermodalen Verknüpfungspunkten können **Kapitel 3** des **VP2040-Bands 8.1 E (Eisenbahnverkehrsprognose 2040 Prognosefall 1 "Basisprognose 2040" (Ergebnisse))** entnommen werden

4.4.4 Zusammenfassung

Insgesamt enthält das Basisnetz 2040 24.148 Knoten (davon 11.028 in Deutschland) und 28.886 Kanten (davon 13.047 in Deutschland). Ein Vergleich mit dem Basisnetz 2019 ist anhand der folgenden **Tabelle 4-1** möglich:

---

40 https://germany.representation.ec.europa.eu/news/eu-kommission-begrusst-einigung-zu-transeuropaischem-verkehrsnetz-ten-v-2023-12-19_de

41 https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/sustainable-and-resilient-transport-network-bringing-europe-closer-together-2024-06-13_en

	Basisnetz 2019	Basisnetz 2040	Differenz
Anzahl Knoten	23.404	24.148	744
- davon in Deutschland	10.358 (44 %)	11.028 (46 %)	670 (90 %)
Anzahl Kanten	27.572	28.886	1.314
- davon in Deutschland	11.968 (43 %)	13.047 (45 %)	1.079 (82 %)
Anzahl Abbiegewiderstände	61.646	66.202	4.556
- davon in Deutschland	29.377 (48 %)	32.835 (50 %)	3.458 (76 %)
Streckenlänge in km	288.788	295.793	7.005
- davon in Deutschland	39.798 (14 %)	41.973 (14 %)	2.175 (31 %)
○ davon EdB[42]	33.175	35.237	2.062
○ davon Dritte	6.623	6.736	113

Tabelle 4-1 Gegenüberstellung der Basisnetze 2019 und 2040

Die Streckenlänge (unabhängig ob ein- oder zweigleisig) in Deutschland steigt im Basisnetz 2040 um rund 2.175 km an, wovon rund 2.062 km auf die Eisenbahnen des Bundes fallen. Dies entspricht einem Wachstum von rund 5,5 % gegenüber den knapp 39.800 km im Basisnetz 2019 und zeigt den deutlichen Infrastrukturzuwachs, der sich im Basisnetz 2040 u. a. aus den Maßnahmen des Deutschlandtaktes ergibt.

[42] Eisenbahnen des Bundes: DB Netz AG, DB RegioNetz Infrastruktur GmbH (RNI), Usedomer Bäderbahn GmbH (UBB)

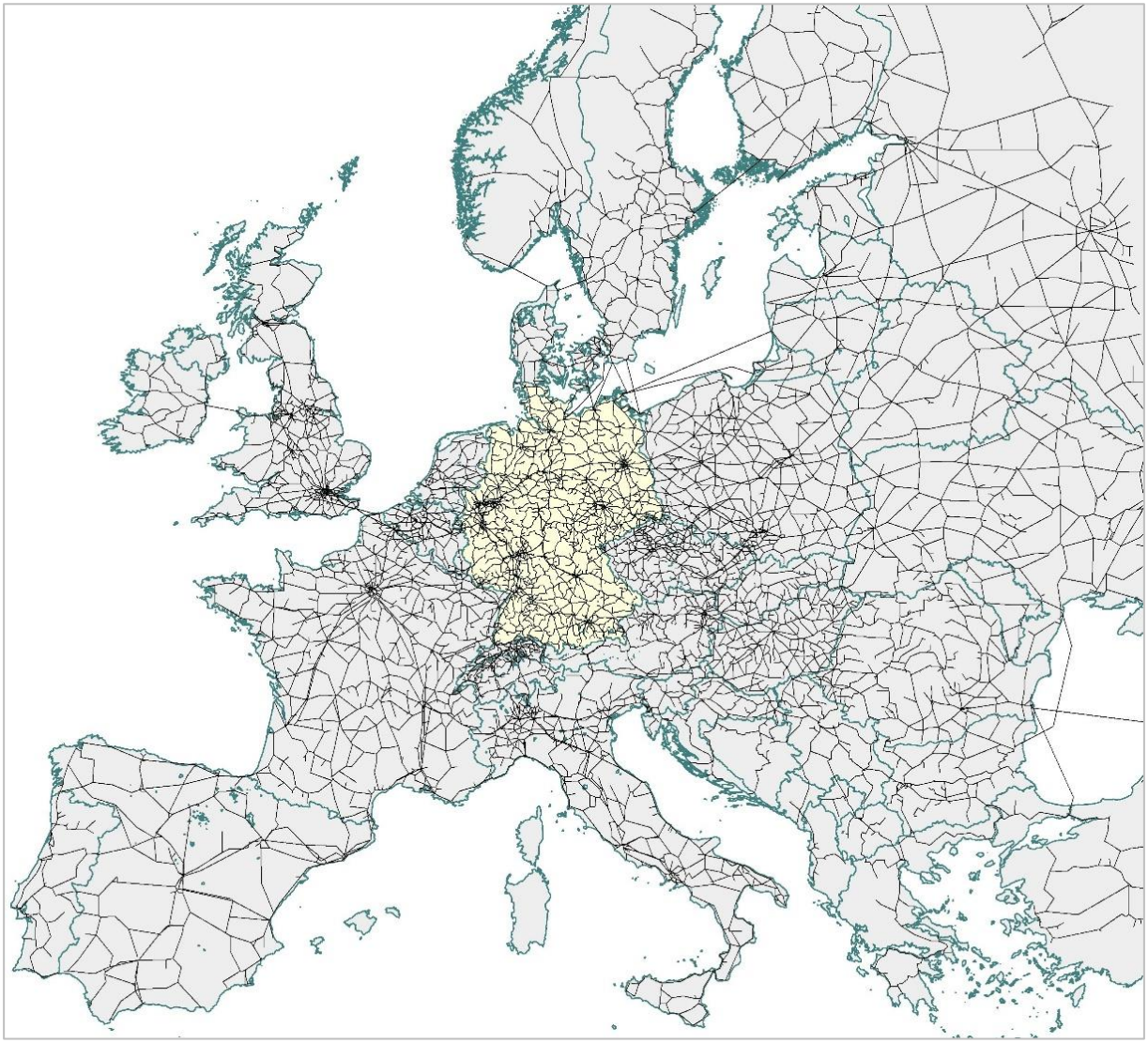

Abbildung 4-1 Überblick Basisnetz 2040

Das resultierende Basisnetz 2040 kann als Übersicht **Abbildung 4-1** entnommen werden. Die Eisenbahnfährverbindungen sind als Kanten mit abgebildet.

4.4.5 Qualitätssicherung

Bei der Erstellung des Basisnetzes 2040 wurde der vorhandene Stand des Basisnetzes 2019 als Grundlage genutzt. Somit genügt das Basisnetz 2040 in den Netzabschnitten ohne Veränderung bereits den gleichen qualitativen Ansprüchen, wie bereits das Basisnetz 2019. In Abschnitten, in denen es zu Veränderungen gekommen ist, sei dies durch Aus- oder Neubauten, kapazitive Maßnahmen oder sonstige Anpassungen der Netztopographie, wurden die gleichen Schritte zur Qualitätssicherung durchgeführt, wie im **Kapitel 3.6** beschrieben.

Die Definition des über den Deutschlandtakt hinausgehenden Maßnahmenkatalogs wurde in Abstimmung mit der DB Netz AG, den Ländern, sowie den ausländischen Verkehrsministerien durchgeführt, darüber hinaus wurde auf weitere Quellen von hoher inhaltlicher Güte zurückgegriffen. Die Erfassung der Maßnahmen des Basisnetzes 2040 und ihre Übernahme in das Netzmodell erfolgte nacheinander gereiht, (Teil-)Maßnahme für (Teil-)Maßnahme mit jeweils anschließender Überprüfung der übernommenen Eigenschaften.

Das Netz wurde, wie auch beim Basisnetz 2019, wieder auf seinen Netzzusammenhang geprüft. Für die neuen bzw. geänderten Abschnitte wurde sichergestellt, dass die spezifischen Kanteneigenschaften

innerhalb eines gewissen Toleranzbereiches liegen. So konnten unter anderem auch durch die ersten vorläufigen Umlegungen der SPV-Züge Ausreißer hinsichtlich Streckenlänge, Streckenhöchstgeschwindigkeit oder der Traktion ausfindig gemacht und korrigiert werden. Ebenfalls wurde auf diese Weise sichergestellt, dass alle zur korrekten Abbildung der Bedienungsangebote des SPV benötigten Bahnhöfe und Haltepunkt im Netzmodell enthalten sind.

Wie auch beim Analysefall 2019 wurde durch Austausch zwischen den Bearbeitern der Eisenbahnverkehrsprognose im Fachteil 4 und den Bearbeitern der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklungsprognose im Fachteil 2 der Verkehrsprognose 2040 die Komptabilität der intermodalen Verknüpfungspunkte im Basisnetz 2040 für die Basisprognose 2040 sichergestellt.

Da das Basisnetz 2040 in Deutschland überwiegend dem Netzmodells des 3. Gutachterentwurf Deutschlandtakt[43] entspricht, wurden des Weiteren Abgleiche zwischen diesen beiden Netzmodellen durchgeführt, um auch hier eventuelle Abweichungen zu identifizieren und entsprechend zu bereinigen. Somit ergibt sich auch eine hohe Kongruenz zwischen diesen beiden Netzmodellen.

---

43 SMA und Partner AG, Intraplan Consult GmbH, VIA Consulting & Development GmbH, in Kooperation mit TTS TRIMODE Transport Solutions GmbH; Zürich/München/Aachen/Freiburg: Abschlussbericht zum Zielfahrplan Deutschlandtakt. Grundlagen, Konzeptionierung und wirtschaftliche Bewertung; 2022