

Modellierung einer neuen EU-Hochgeschwindigkeitsinfrastruktur

Dr. Marco Kampp, Julia Sedelmeier, Jan Schüth, Dr. Martin Thust, Daniel Kaiser

DB Fernverkehr AG, Europa-Allee 78-84, D-60486 Frankfurt,

Marco.Kampp@deutschebahn.com, Julia.Sedelmeier@deutschebahn.com,

Jan.Schueth@deutschebahn.com, Martin.Thust@deutschebahn.com,

Daniel.D.Kaiser@deutschebahn.com

Wolfgang Scherr

MOVENTES GmbH, Egghölzlistr. 69, CH-3006 Bern, wolfgang.scherr@moventes.net

Prof. Dr.-Ing. Johannes Schlaich

Berliner Hochschule für Technik, Luxemburger Str. 10, D-13353 Berlin,

johannes.schlaich@bht-berlin.de

Petr Senk

PTV Planung Transport Verkehr GmbH, Haid-und-Neu-Straße 15, D-76131 Karlsruhe,

petr.senk@ptvgroup.com

Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt die Methodik und Ergebnisse einer Studie vor, die die Deutsche Bahn AG in Auftrag gegebenen hat. Die Studie analysiert die Nachfrage im Schienenpersonenfernverkehr in der Europäischen Union unter verschiedenen Szenarien für den Ausbau der Schieneninfrastruktur zu einem Hochgeschwindigkeitsnetz. Um die Nachfrage im europäischen Personenfernverkehr für alle Verkehrsmittel zu prognostizieren, wurde ein multimodales Nachfragemodell entwickelt und angewendet. Das Nachfragemodell umfasst den Betrachtungsraum der gesamten Europäischen Union und verknüpft verschiedenste Open sowie Big Data-Quellen.

Das wichtigste Ergebnis der Studie: Die kürzlich überarbeiteten TEN-V-Pläne reichen nicht aus, um die EU-Ziele einer Verdoppelung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs bis 2030 und einer Verdreifachung bis 2050 zu erreichen. Das untersuchte „Metropolitan Network“ zeigt, dass es ein deutlicher Ausbau der Schieneninfrastruktur zu einem europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz benötigt wird, die Ziele des EU-Green Deals zu erreichen.

1 Einleitung

Im Rahmen des „Green Deal“ hat die Europäische Union Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor festgelegt. Für den Schienenpersonenverkehr wurde aus der daraus abgeleiteten „Sustainable and Smart Mobility Strategy“ das Ziel gesetzt, die Personenkilometer (Pkm) im Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV) bis 2030 zu verdoppeln und bis 2050 zu verdreifachen (European Commission 2021a).

Branchenweit besteht Einvernehmen darüber, dass neue Pläne für ein künftiges HGV-Netz entwickelt werden müssen, die über die aktuellen TEN-V-Pläne der EU hinaus gehen, um diese ehrgeizigen Ziele erreichen zu können. So sind beispielsweise mehrere Länder, insbesondere in den östlichen Regionen Europas, nur unzureichend oder gar nicht durch Hochgeschwindigkeitsstrecken verbunden, wodurch ein Großteil des Potenzials für ein Verkehrswachstum ungenutzt bleibt. Aus nachfrageorientierter Sicht scheint ein breiteres Netz erforderlich zu sein, um alle Metropolregionen in der Europäischen Union effektiv zu verbinden.

Die Deutsche Bahn AG (DB) hat zusammen mit anderen europäischen Eisenbahnverkehrsunternehmen eine Studie zur Simulation der Erreichbarkeit der EU-Ziele für 2030 und 2050 beauftragt. Untersucht wurde, inwiefern die bis 2030 voraussichtlich vorhandene Hochgeschwindigkeitsinfrastruktur hierfür ausreicht, sowie in welcher Dimension bis 2050 Infrastrukturmaßnahmen erforderlich sind (Deutsche Bahn AG 2023). Ausgangsthese der Studie ist, dass alle Metropolregionen in der Europäischen Union bis 2050 an den HGV angebunden werden müssen, um das avisierte Verkehrswachstum zu erreichen.

Die Studie wurde von der PTV Group sowie den weiteren Autor:innen durchgeführt. Im Rahmen der Bearbeitung fand eine Zusammenarbeit mit mehreren europäischen Eisenbahnverkehrsunternehmen statt, sodass neben frei verfügbaren Daten (z. B. von Eurostat, UIC und OECD) und kommerziellen Daten (z. B. zum Flugverkehr) auch weitere nationale Expertise der Schienenverkehrsanbieter zur Verfügung standen (teilweise veröffentlicht z. B. Gobierno de España 2020). Die Studie fokussiert sich auf den HGV-Infrastrukturausbau und geht für die anderen Verkehrsmittel und weitere Rahmenbindungen eine *ceteris paribus* Annahme aus. Um pandemiebedingte Sondereffekte auszuschließen, wurde für die gesamte Studie das Jahr 2019 als Datenbasis für das Nachfragemodell gewählt.

In Kapitel 2 wird der Aufbau und die Methodik des Angebots- und Nachfragemodells beschrieben. Kapitel 3 fasst anschließend die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Kapitel 4 ist ein abschließendes Fazit und gibt einen Ausblick.

2 Methodik

2.1 Modellierung des Schienenangebots

Das *europäische Schienennetzmodell* wurde auf der Grundlage des multimodalen Verkehrsmodells PRIMA der DB entwickelt. Dieses enthält ein fahrplanbasiertes Modell des Schienenverkehrsangebots in Europa. Neben einigen nötigen lokalen Ergänzungen des Fahrplans wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Vereinfachung des Netzes:
Zum jetzigen Zeitpunkt liegen für kein Szenario europaweite Fahrpläne eines HGV-Netzes 2030/2050 vor. Dies gilt sowohl für die aktuellen TEN-V-Planungen als auch für das in dieser Studie entwickelte "Metropolitan Network". Um zu verhindern, dass vereinfachte Annahmen über Linien und Fahrpläne die Angebotsqualität bestimmter Relationen beeinflussen, wurde bewusst auf solche Annahmen verzichtet. Stattdessen wurden der Fahrplan 2019 auf ein Knoten-Kanten-Modell reduziert. Dabei wurden die Fahrzeiten auf den Kanten mit durchschnittlichen Fahrzeiten aus dem Fahrplan belegt und Knoten nach Typ (z. B. Umsteigeknoten wie der Frankfurt Hauptbahnhof oder einfache Haltepunkte) mit spezifischen Umsteigezeiten differenziert. Die Umsteigezeiten beinhalten sowohl die reinen Geh- als auch angenommene Wartezeiten und wurden im Netzmodell als Abbieger hinterlegt.
- Trennung von HGV und konventionellem Schienenverkehr:
Die HGV-Nachfrage definiert sich in diesem Projekt nach der für den Green Deal maßgebenden Eurostat-Definition über die eingesetzten Züge. Dabei werden Züge mit einer Höchstgeschwindigkeit von mindestens 250 km/h (Neigetechnik-Züge ab 200 km/h) als HGV gewertet (z. B. ICE, TGV, AVE). Die Definition ist also unabhängig von der Entwurfsgeschwindigkeit der verwendeten Infrastruktur. So wird eine Reise in einem ICE immer für die Personenkilometer (Pkm) der HGV-Nachfrage gewertet; auch wenn diese auf einer konventionellen Strecke mit 160 km/h Entwurfsgeschwindigkeit verkehrt. Ein eventuell gleich schnell fahrender IC dagegen fällt in die Kategorie „konventioneller Schienenverkehr“. Um bei Strecken, die von HGV und konventionellem Schienenverkehr genutzt werden, eine realistische Wahl zwischen HGV und konventionellem Schienenverkehr zu ermöglichen sowie eine differenzierte Auswertung zu erhalten, wurden für HGV und den konventionellen Schienenverkehr parallele Strecken mit jeweils passender Fahrzeit und Haltemuster angelegt.

Auf dem damit entstandenen integrierten Schienennetz können mit klassischen Umlegungsmethoden für den Individualverkehr die Streckenbelastungen getrennt für HGV und den konventionellen Schienenverkehr ermittelt werden. Die Wahl zwischen HGV und konventionellem Schienenverkehr erfolgt damit als Teil der Routenwahl in der Umlegung. Mit einer stochastischen Umlegung, die moderate Kapazitätsbegrenzungen auf Basis der Anzahl der Züge pro Tag approximiert sowie einen Zuschlag zur HGV-Nutzung vorsieht, konnte eine gute Übereinstimmung der HGV-Personenkilometer mit Eurostat-Daten und mit lokalen Zählenden der beteiligten Eisenbahnen erreicht werden.

Zusätzlich berücksichtigt die untersuchte Hochgeschwindigkeitsinfrastruktur für 2030 die bestehenden Strecken sowie all jene, die sich aktuell im Bau befinden und bis 2030 voraussichtlich in Betrieb gehen (vgl. lila Strecken in Bild 1). Die Fahrzeiten wurden dabei aus veröffentlichten Planungen übernommen. Falls nicht verfügbar, wurden sie mit einer Entwurfsgeschwindigkeit von 250 km/h bzw. einer Fahrplangeschwindigkeit von 170 km/h angenommen.

Für 2050 wurde ein deutlich umfangreicheres Netz untersucht, das alle Metropolregionen gemäß den Gebietstypologien von Eurostat (Eurostat 2018) in der EU sowie einigen EU-Beitrittskandidaten und Nachbarländern an das HGV-Netz anschließt – das „Metropolitan Network“. Dieses Netz wurde basierend auf der existierenden und der bis 2030 geplanten Hochgeschwindigkeitsinfrastruktur von erfahrenen internationalen Eisenbahnplanern

entwickelt. Daraus ergeben sich rund 21.000 km zusätzliche HGV-Infrastruktur in der EU (gelbe Strecken in Bild 1), was in etwa einer Verdreifachung der heutigen HGV-Infrastruktur entspricht (Eurostat 2022). Das „Metropolitan Network“ geht damit deutlich über die aktuellen TEN-V-Pläne hinaus (European Commission 2021b). Für die Infrastruktur im Jahr 2050 wird eine Entwurfsgeschwindigkeit von 300 km/h und eine Fahrplangeschwindigkeit von 210 km/h angenommen.

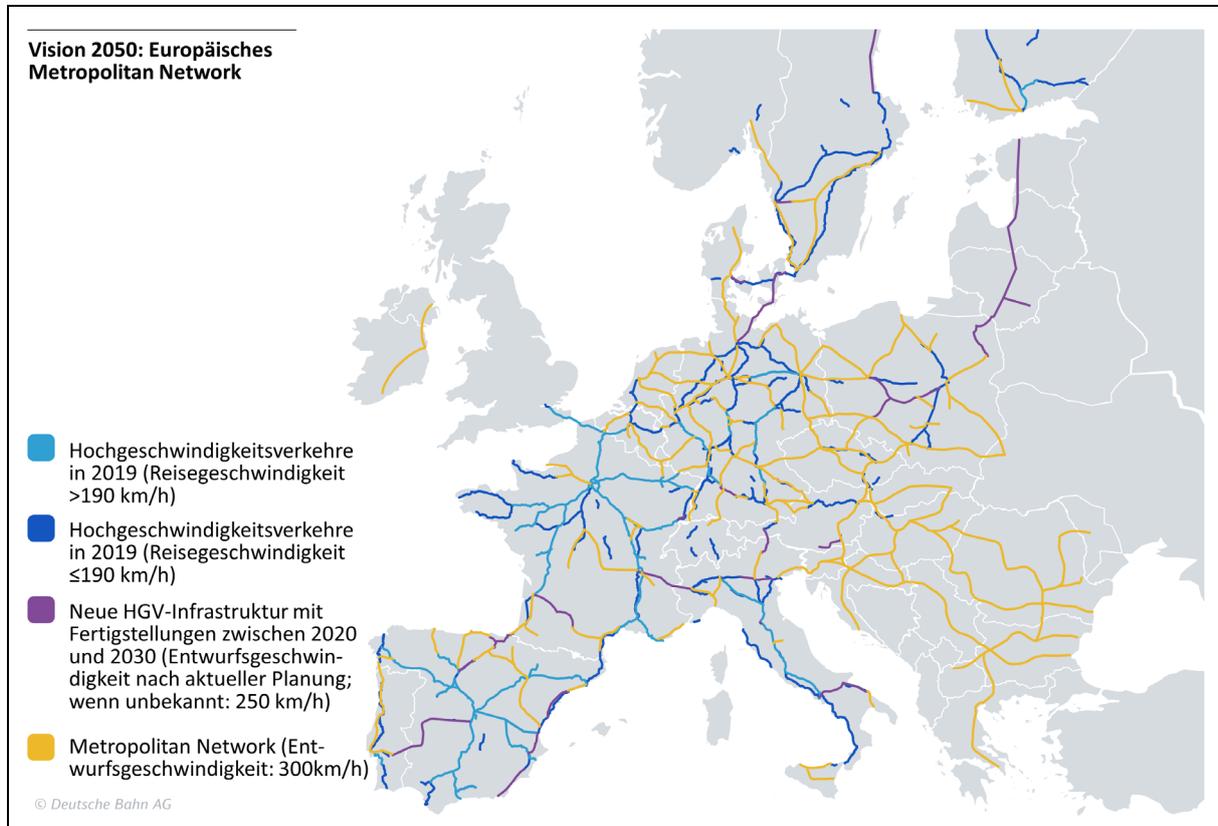


Bild 1: HGV-Netz 2030 und das „Metropolitan Network“ 2050.

Das „Metropolitan Network“ schließt damit alle EU-Mitgliedstaaten (außer Malta und Zypern) sowie ausgewählte EU-Beitrittskandidaten und -Nachbarländer bis 2050 an den HGV an:

- Für einige Regionen in Osteuropa bietet der HGV eine völlig neue Mobilitätsoption im Fernverkehr.
- Regionen mit bereits gut entwickelter HGV-Infrastruktur wie Frankreich oder Spanien verdichtet das HGV-Netz in alle Metropolregionen.
- In anderen Regionen, wie z. B. in Teilen Deutschlands, ersetzt das neue HGV-Netz die derzeit von HGV-Zügen genutzte, langsamere Infrastruktur.

2.2 Struktur des Nachfragemodells

Zur Analyse des HGV wurde für diese Studie ein Modell für die Nachfrage im Personenfernverkehr entwickelt, das die folgenden Haupteigenschaften aufweist:

- Das Modell deckt die EU-Länder sowie einige Kandidaten- und Nachbarländer ab. Die geografische Auflösung ist NUTS3 (ca. 1.500 Zonen).
- Es werden vier Verkehrsmittel für den Fernverkehr modelliert: Schienenverkehr, Pkw, Fernbus und Flugzeug.
- Wie in Kap. 2.1 erläutert, wird für das Verkehrsmittel Schienenverkehr ein integriertes Netz- und Umlegungsmodell verwendet. Dieses ermöglicht die Aufteilung der gesamten Eisenbahnnachfrage zwischen dem konventionellen Schienenverkehr und dem HGV, sodass der konventionelle Schienenverkehr als Zubringer dient, aber differenziert ausgewertet werden kann

2.3 Nachfrageermittlung für den Ist-Zustand (2019)

Für den Ist-Zustand (2019) werden Quelle-Ziel-Matrizen für alle Verkehrsmittel erzeugt. Dabei wurden so weit wie möglich empirische Daten verwendet und diese bei Bedarf durch synthetische oder modellierte Daten ergänzt.

- Die *Flug-Nachfrage* stammt vom kommerziellen Datenanbieter Cirium. Cirium ermittelt diese Daten aus mehreren Buchungssystemen und ergänzt sie um vereinzelte Flüge, die nicht in einem der globalen Buchungssysteme verfügbar sind. Dabei werden - anders als bei Eurostat Quelle-Ziel-Daten mit Umsteigevorgängen erfasst. Die Quellen und Ziele, die in den Originaldaten jeweils Flughäfen sind, wurden mit einem Verteilungsmodell unter der Annahme realistischer Einzugsbereiche auf Verkehrszellen konvertiert, so dass am Ende eine NUTS3-Quelle-Ziel-Matrix vorlag. Somit kann die Luftverkehrsmatrix als quasi-empirische Nachfrage betrachtet werden.
- Die *Schienenverkehrsnachfrage* wurde aus verschiedenen Quellen zusammengeführt. Dazu gehörten sowohl Quelle-Ziel-Informationen aus bestehenden Verkehrsmodellen der Deutschen Bahn AG als auch von kooperierenden europäischen Eisenbahnen auf NUTS3-Ebene. Zudem liegen bei Eurostat und UIC für viele Relationen empirische Daten auf NUTS2- oder NUTS1-Ebene vor, die auf die NUTS3-Relationen skaliert wurden. Zur Validierung wurden zum einen Kapazitätsanalysen durchgeführt, mit deren Hilfe unplausible Eurostat-Werte identifiziert und korrigiert werden konnten. Zum anderen wurden die Ergebnisse durch Experten von zehn europäischen Eisenbahnverkehrsunternehmen validiert.
- Die *Fernbus-Nachfrage* basiert auf einem „mixed supply-driven and synthetic“ Ansatz. Dafür wurde das Angebot europäischer Fernbus-Fahrpläne aus öffentlich zugänglichen Quellen im GTFS-Format heruntergeladen, mit Verbindungsabfragen auf Internetportalen verifiziert, durch manuelle Eingaben ergänzt und in ein Angebotsmodell integriert. Die Nachfrage wurde mit Hilfe der Matrixschätzung (Friedrich et al. 2000) unter Annahme einer durchschnittlichen Auslastung ermittelt. Als Start-Nachfrage diente dabei eine synthetisch erzeugte Matrix mit sinnvollen Reisedistanzen (Frei et al. 2010).

- Bei der *Pkw-Nachfrage* handelt es sich weitgehend um eine synthetische Nachfrage aus früheren Studien, da europaweit keine empirischen Daten vorliegen. Diese wurde anhand aktueller Verkehrszählungen aus nationalen Quellen in einem OSM-basierten Verkehrsnetz kalibriert und mit aggregierten Reisetstatistiken, insbesondere von Eurostat, verifiziert.

Zusammenfassend sind die Nachfragematrizen für alle vier Verkehrsmittel auf NUTS3-Ebene verfügbar. Bild 2 zeigt exemplarisch den grenzüberschreitenden Verkehr (NUTS0).

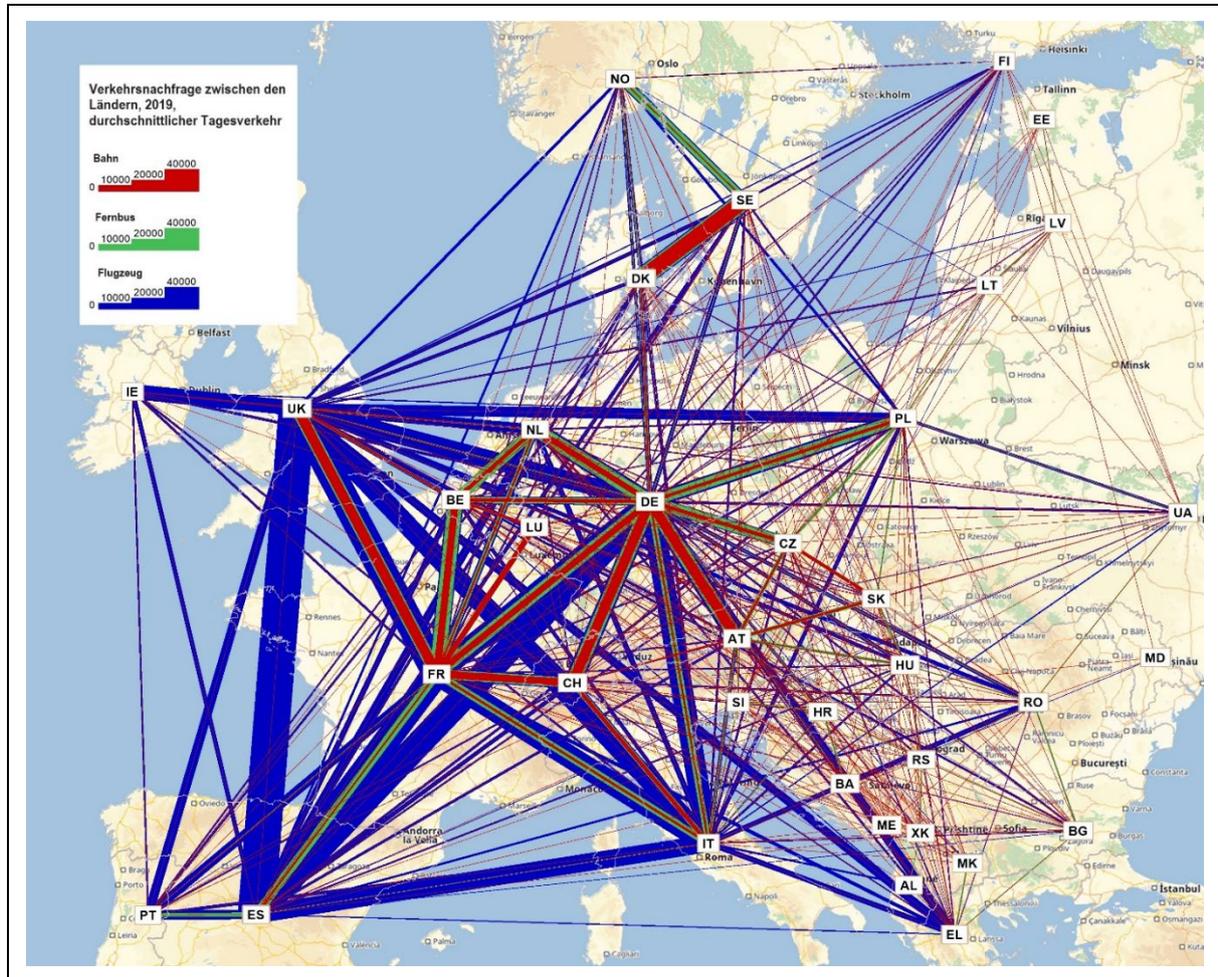


Bild 2: Nachfrage auf NUTS0-Ebene, 2019, 3 Verkehrsmittel (ohne Pkw)

2.4 Nachfrageprognose für 2030 und 2050

Die Nachfrageprognosen für 2030 und 2050 werden in drei Schritten ermittelt, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden:

1. Natürliches Wachstum
2. Moduswahl
3. Induzierter Verkehr

2.4.1 Natürliches Wachstum

Das natürliche Wachstum berücksichtigt Veränderungen der Bevölkerung Bev (NUTS3-Daten von Eurostat) sowie des Bruttoinlandsproduktes BIP_{EW} pro Einwohner (NUTS0-Daten der OECD). Die Elastizitäten ϵ sind konstant für alle Verkehrsmittel m und können der Tabelle 1 entnommen werden. Für eine Quelle-Ziel-Relation von i nach j ergibt sich damit die Anzahl der Wege vereinfacht dargestellt wie folgt:

$$Wege_{m,ij}(2050) = Wege_{m,ij}(2019) \cdot \left(\frac{Bev(2050)_i \cdot Bev(2050)_j}{Bev(2019)_i \cdot Bev(2019)_j} \right)^{\epsilon_{Bev}} \cdot \left(\frac{BIP_{EW}(2050)_i \cdot BIP_{EW}(2050)_j}{BIP_{EW}(2019)_i \cdot BIP_{EW}(2019)_j} \right)^{\epsilon_{BIP}}$$

Die Bevölkerungsprognosen sagen ein Wachstum in den urban geprägten NUTS3-Regionen mit heute bereits überdurchschnittlicher Schienen- und Flugverkehrsnachfrage vorher, sodass das natürliche Wachstum zugunsten dieser beiden Verkehrsmittel auswirkt.

2.4.2 Moduswahl

Es gibt keine konsistenten Haushaltserhebungen zum Fernreiseverkehr, die ganz Europa abdecken (z. B. Fiorello et al. 2016/2017). Daher wurde das Moduswahl-Modell auf Basis der vorwiegend empirischen Nachfragematrizen für 2019 (vgl. Kapitel 2.3) geschätzt. Diese Matrizen können vergleichbar mit Wegen aus einer Haushaltsbefragung für eine Modellschätzung verwendet werden. Vorteilhaft ist hier, dass eine vollständige besetzte Nachfragematrix vorliegt, was bei Haushaltserhebungen nicht leistbar ist. Dafür liegen aber keine detaillierten Informationen über die Nutzenden oder Aktivitäten der Wege vor.

Die Parameterschätzung eines Logit-Modells erfolgte mit BIOGEME (Bierlaire 2023). Da sich die Studie vor allem darauf fokussiert, die Wirkung von veränderten Reisezeiten aufgrund des „Metropolitan Networks“ zu ermitteln, wurde das Logit-Modell an Reisezeiten ausgerichtet. Diese Reisezeit lagen für Pkw, den Schienenverkehr und den Fernbus aus den Angebotsmodellen vor. Im Flugverkehr wurde sie direkt aus den Cirium-Daten ermittelt und durch intermodale Zubringer ergänzt.

Das Moduswahlmodell wird dabei wie folgt aufgestellt:

1. Unterteilung der Relationen in Reiseweiteklassen, damit ein Logit-Modell trotz der großen Bandbreite von Reiseweiten anwendbar ist (Alternative: Transformation der Reisezeiten).
2. Schätzung der β -Parameter für die Reisezeit sowie einer globaler Konstanten C . Der Wert des β spiegelt die grundsätzliche Reaktion der Nutzenden pro Minute veränderter Reisezeiten wider. Diese Reaktion nimmt bei der hoch signifikanten Schätzung erwartungsgemäß mit zunehmenden Reiseweiten ab. Andere Einflussgrößen wie das BIP konnten keinen statistisch signifikanten Mehrwert für die Modellgüte liefern und wurden daher verworfen.
3. Anders als in klassischen, synthetischen Nachfragemodellen erfolgt bei der Modellanwendung je Quelle-Ziel-Relation eine Anpassung, um im Ist-Zustand exakt die empirischen Matrizen zu erreichen. Es wird also ein inkrementelles Modell angewendet, bei dem die Veränderung der Moduswahl ermittelt und auf den Ist-Zustand angewendet wird. Dazu können entweder die Konstanten C je Relation angepasst oder aus dem Modell mit einer globalen Konstante C das Delta der Moduswahl auf den Ist-Zustand angewendet werden.

2.4.3 Induzierter Verkehr

Induzierter Verkehr umfasst Reisen, die ohne das zusätzliche Verkehrsangebot nicht stattgefunden hätten. Dies können zusätzliche Wege oder längere Wege sein. Die Anzahl der induzierten Wege ergibt sich aus einer Verbesserung der Erreichbarkeit einer Quelle i . Diese Erreichbarkeit hängt von der Reisezeit RZ_{ij} mit dem Schienenverkehr zu allen Zielen j ab. Die Reisezeit besteht aus der reinen Reisezeit, ergänzt um einen empirisch beobachteten Zuschlag für National- und Sprachgrenzen. Die Zielattraktivität ergibt sich dabei aus einer mit dem $BIP_{EW,j}$ gewichteten Bevölkerungsanzahl Bev_j .

$$Erreichbarkeit_i = \sum_j e^{RZ_{ij}} \cdot Bev_j \cdot \min\left(2,0; \max\left(0,5; \frac{BIP_{EW,j}}{32000}\right)\right)$$

Die Einstellung der Parameter erfolgt anhand der Matrizen für 2019 sowie Obergrenzen für Fernverkehre aus der Literatur (Frei et al. 2010). Auch die Verteilung des induzierten Verkehrs orientiert sich an den Erkenntnissen der empirischen Matrizen.

2.4.4 Elastizitäten der Prognosen

Tabelle 1 fasst die Elastizitäten zusammen, die in den Prognosen explizit verwendet wurden (natürliches Wachstum) oder sich aus den Modellen ergeben (Moduswahl und induzierter Verkehr). Diese Elastizitäten stimmen mit empirischen Beobachtungen zu HGV aus anderen Studien überein. Cascetta und Coppola (2011, 2013) konnten Reisezeit-Elastizitäten nach der Einführung neuer HGV-Linien in Italien in der gleichen Größenordnung messen. Scherr und Bützberger (2016) ermittelten empirische Elastizitäten für Bahnreisen bis 250 km, wonach die hier für das natürliche Wachstum verwendeten Elastizitäten eher konservativ sind, die hier erzielte Reisezeitelastizität im nationalen Verkehr dagegen realistisch ist. Weiterhin stimmt letztere Quelle mit den hier verwendeten Reisezeit-Elastizitäten insofern überein, als die Nachfrage mit zunehmender Reiselänge stärker auf Reisezeitverbesserungen reagiert. Das britische PDFH (2018) präsentiert ebenfalls empirisch geprüfte Elastizitäten der Bahnnachfrage im nationalen Verkehr mit Werten, die ebenfalls die hier präsentierten Werte unterstützen.

Einflussgröße	Segment	Natürliches Wachstum	Moduswahl	Induzierter Verkehr	Total
Bevölkerung	Alle Fahrten	+1,0			+1,0
BIP pro Einwohner	Alle Fahrten	+0,4			+0,4
Generalisierte Reisezeit im Schienennetz	Nationale Fahrten		-0,9	-0,5	-1,4
	Internationale Fahrten		-1,9	-2,0	-2,6
	Alle Fahrten		-0,9	-0,7	-1,4

Tabelle 1: Elastizitäten der Nachfrage bezogen auf Pkm

Diese Prognosen modellieren die Reaktion der Nachfrage auf Verbesserungen der HGV-Infrastruktur und damit kürzeren Reisezeiten (vgl. Kap. 3.4). Es wird davon ausgegangen, dass

das Angebot und die Preise der konkurrierenden Verkehrsträger unverändert bleiben und keine anderen verkehrspolitischen oder externen Effekte auftreten (siehe dazu z. B. EY 2023).

3 Ergebnisse für das „Metropolitan Network“

Wie in Kapitel 1 beschrieben, hat die EU ehrgeizige Ziele für das Wachstum des HGV formuliert. Die Gesamtzahl der Personenkilometer soll sich bis 2030 verdoppeln und bis 2050 verdreifachen, jeweils verglichen mit dem Basisjahr 2015. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Modellierung für 2030 und 2050 vorgestellt.

3.1 EU-Zielerreichung im Jahr 2030 und 2050

Mit dem aktuellen Ausbau der HGV-Infrastruktur bis 2030 kann das EU-Zwischenziel einer Verdoppelung der HGV-Nachfrage gegenüber dem Basisjahr 2015 nicht erreicht werden. Die HGV-Nachfrage steigt zwar deutlich von 110 Mrd. Pkm (2015) auf 175 Mrd. Pkm (2030), verfehlt aber mit einer Steigerung um ca. 60 Prozent klar die angestrebte Steigerung von 100 Prozent auf 220 Mrd. Pkm (vgl. Bild 3).

Das „Metropolitan Network“ erreicht dagegen das Ziel einer Verdreifachung der HGV-Nachfrage. Mit modellierten 358 Mrd. Pkm im Jahr 2050 wird das Ziel von 330 Mrd. Pkm leicht übertroffen.

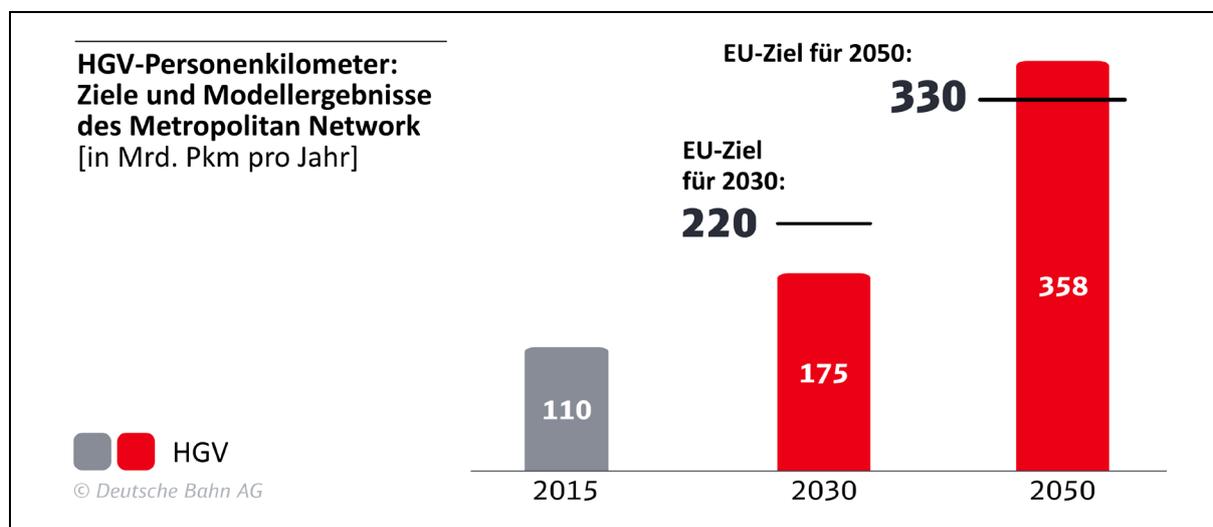


Bild 3: HGV-Wachstum in Pkm (2015, 2030 und 2050)

3.2 Analyse des HGV-Marktanteils

Bei einer Umsetzung des „Metropolitan Network“ kann der Anteil des HGV am Fernverkehr (≥ 100 km) in Europa fast verdreifacht werden. Wie Bild 4 zeigt, steigt der Anteil von 5 Prozent im Jahr 2015 auf 14 Prozent im Jahr 2050. Der Anteil des konventionellen Schienenverkehrs bleibt konstant: Auf der einen Seite werden Fahrten zum HGV verlagert, auf der anderen Seite

profitiert der konventionelle Schienenverkehr von Zubringerfahrten zum stärkeren HGV. Der Marktanteil des Pkw-Verkehrs reduziert sich von 63 Prozent (2015) auf 53 Prozent (2050), während der Anteil des Luftverkehrs mit 25 Prozent im Jahr 2030 seinen Höhepunkt erreichen und bis 2050 leicht auf 24 Prozent sinken wird. Der Hauptgrund für den konstanten Marktanteil des Luftverkehrs ist dessen dominierende Rolle auf dem Markt für sehr große Entfernungen über 1.500 km (siehe Bild 5).

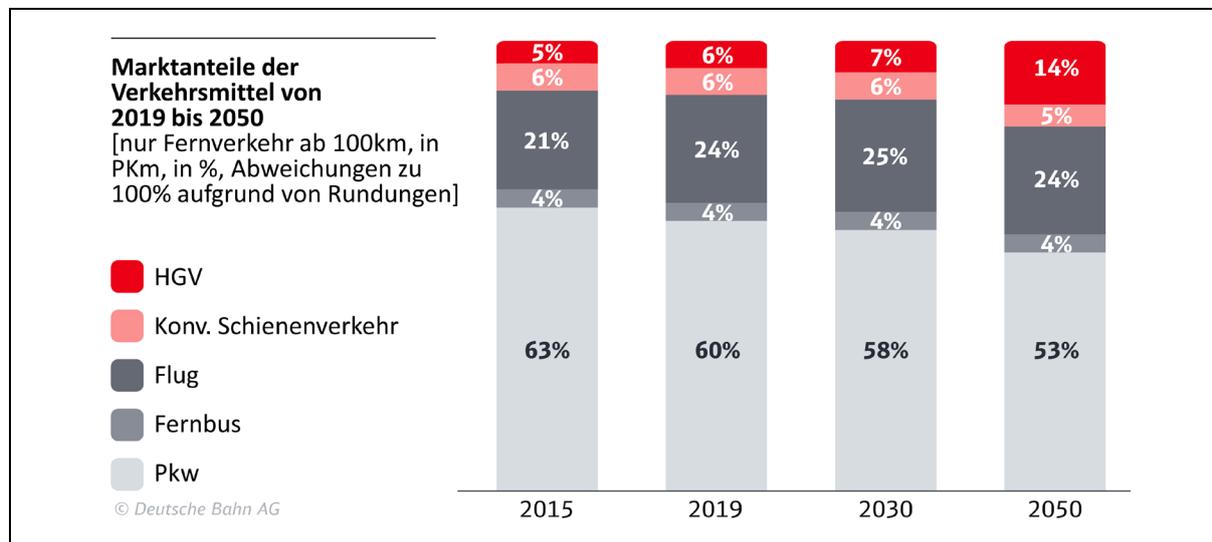


Bild 4: Moduswahl, dargestellt für den Fernverkehr $\geq 100\text{km}$ (2015, 2019, 2030 und 2050)

Das „Metropolitan Network“ kann den Anteil des HGV-Verkehrs insbesondere bei Reiseweiten zwischen 300 und 1.500 km erheblich steigern und insbesondere den Marktanteil des Pkw-Verkehrs reduzieren (vgl. Bild 5).

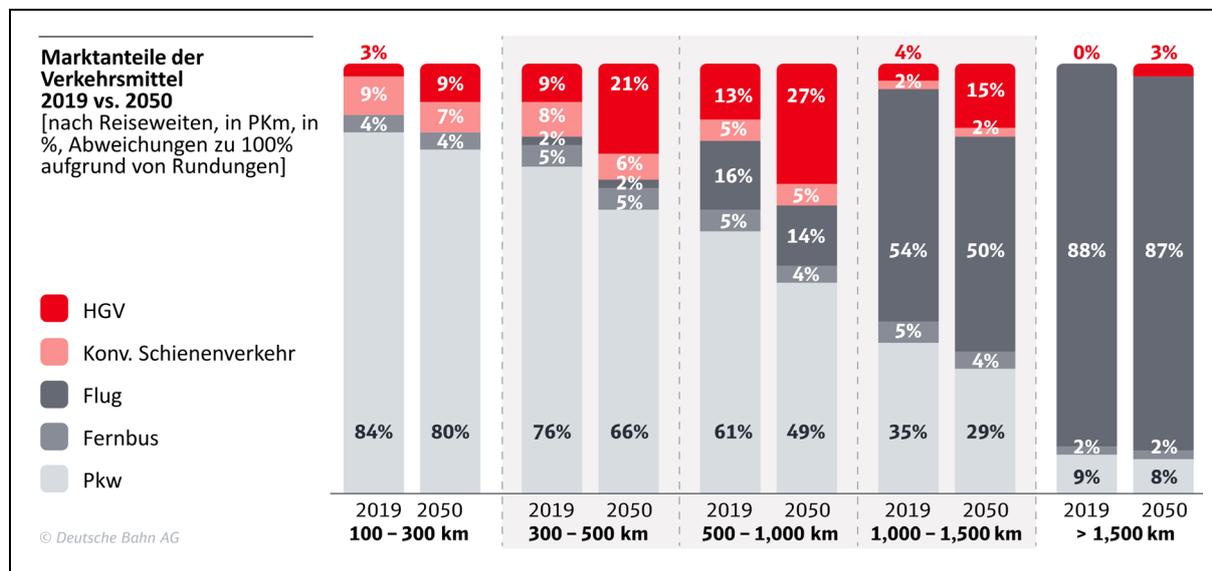


Bild 5: Moduswahl nach Reiseweitenklassen (2019 und 2050)

Insgesamt ermöglicht das „Metropolitan Network“ ein zusätzliches HGV-Wachstum von 174 Prozentpunkten. Dabei hat die veränderte Moduswahl mit rund 70 Prozentpunkten den größten Anteil. Nach der Moduswahl folgt mit rund 60 Prozentpunkten die veränderte

Routenwahl in der Schienenverkehrsumlegung, also der Wechsel von konventionellem Schienenverkehr auf den HGV. Danach folgen der induzierte Verkehr und das natürliche Wachstum (vgl. Bild 6)

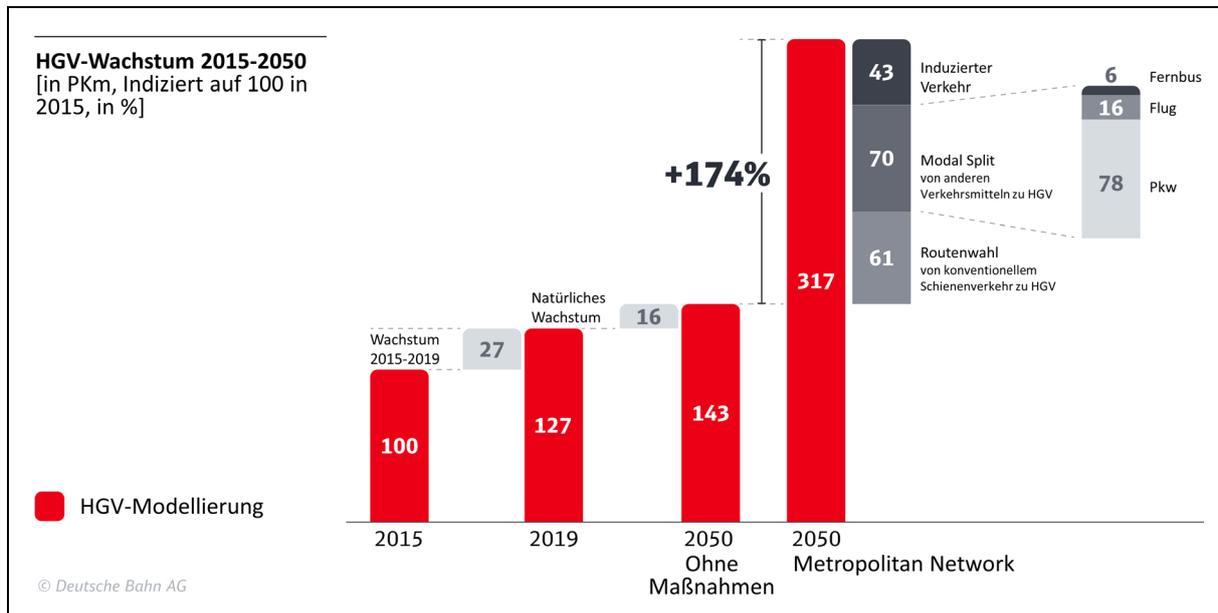


Bild 6: Wachstum des HGV nach Ursache

Das folgende Bild 7 zeigt die prognostizierte HGV-Marktgröße in Pkm und deren Wachstum nach Ländern von 2019 bis 2050.

Frankreich, Deutschland, Italien und Spanien sind bereits heute die größten HGV-Märkte und verzeichnen bis 2050 ein hohes absolutes Wachstum. Während Spanien (+142 Prozent) und Deutschland (+112 Prozent) die HGV-Nachfrage mehr als verdoppeln, wächst Italien (+78 Prozent) ebenfalls deutlich. Frankreich (+50 Prozent) hat aufgrund des bereits heute sehr gut ausgebauten HGV-Netzes ein geringeres relatives Wachstum, wird aber den Prognosen zufolge bis 2050 der größte HGV-Markt in der EU bleiben.

Die höchsten Wachstumsraten sind in den kleineren HGV-Märkten zu verzeichnen. Auf Länder, die derzeit über keine HGV-Infrastruktur verfügen, entfallen 20 Prozent des Gesamtwachstums und 12 Prozent der gesamten HGV-Nachfrage im Jahr 2050.

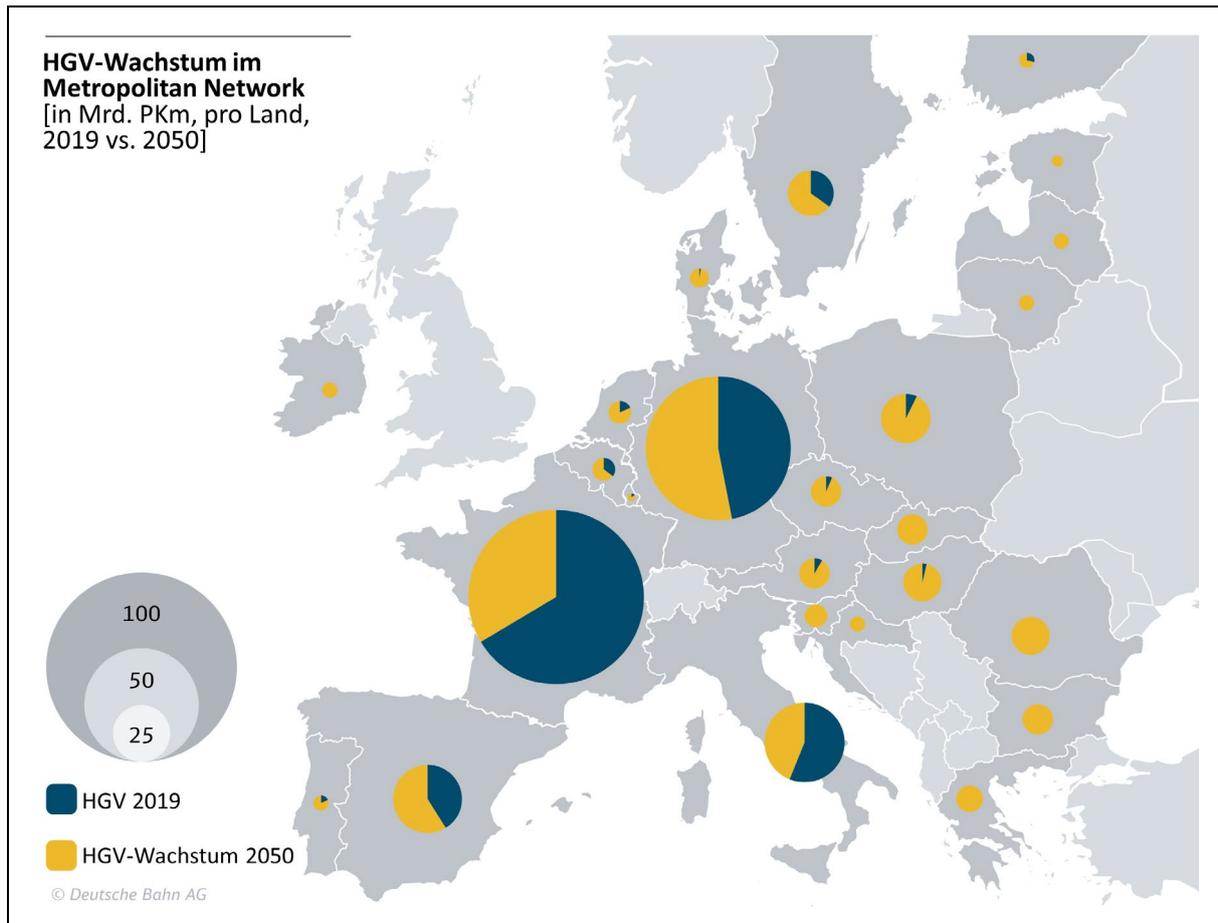


Bild 7: Marktgröße (Mrd. Pkm) nach Land

3.3 Wirtschaftlichkeit des Betriebs

Das folgende Bild 8 zeigt das Fahrgastaufkommen auf dem HGV-Netz im Jahr 2019 und auf dem „Metropolitan Network“ im Jahr 2050. Fast alle im „Metropolitan Network“ vorgeschlagenen neuen HGV-Korridore würden eine ausreichende Nachfrage aufweisen, um eine solide wirtschaftliche Grundlage für den HGV-Betrieb mit hohen Frequenzen zu gewährleisten.

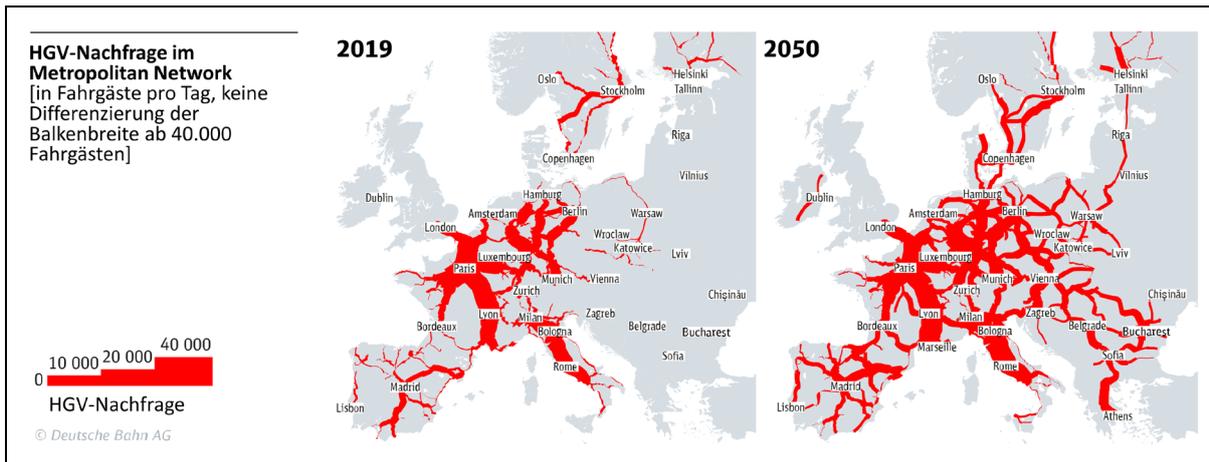


Bild 8: Modellierte Nachfrage im HGV-Netz (2019 und 2050)

3.4 Visualisierung der empfundenen Reisezeiten des „Metropolitan Networks“

Die Metropolregionen und damit rund 60 Prozent der Bevölkerung in der EU profitieren erheblich von dem „Metropolitan Network“ und ermöglichen so eine deutlich verbesserte Erreichbarkeit innerhalb von Europa auf der Schiene. Bild 9 visualisiert exemplarisch die Schienenverkehrs-Reisezeiten ausgehend von Prag: Die in grün und gelb dargestellten Flächen sind gut erreichbare Ziele und vergrößern sich deutlich von 2019 auf 2050. Für Regionen, die heute nahezu keine Schienenverkehrsinfrastruktur haben, sind die Wirkungen noch größer.

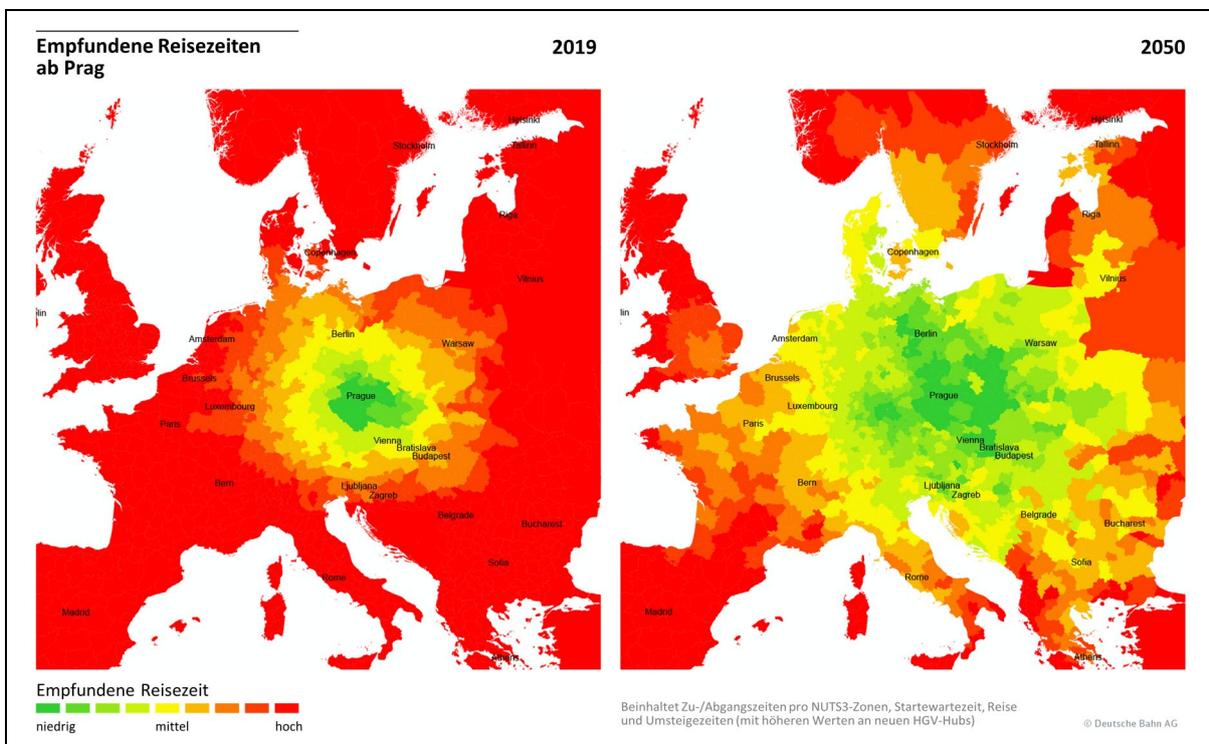


Bild 9: Isochrone der empfundenen Reisezeiten mit dem Schienenverkehr von Prag (2019 und 2050)

4 Fazit und Ausblick

4.1 Methodisches Fazit

Die methodischen Herausforderungen bei der Modellierung waren die große geografische Ausdehnung und die damit einhergehenden zu betrachtenden Verkehrsmittel des Fernverkehrs, über deren Nutzung wenig Informationen zur Verfügung stehen. Die erfolgreiche Projektbearbeitung innerhalb einer kurzen Projektlaufzeit wurde durch folgende Erfolgsfaktoren erreicht:

1. Nutzung Open und Big Data:

Sowohl für die Angebotsmodelle als auch Nachfragedaten wurden soweit möglich frei verfügbaren Open Data, kommerziell kaufbare Big Data und Daten von den beteiligten Eisenbahnverkehrsunternehmen genutzt und kombiniert.

2. Abstrahierung und Fokussierung:

Das Modell wurde fokussiert für die Analyse der Wirkung des Metropolitan Networks erstellt. Dafür wurden sinnvolle Abstrahierungen umgesetzt, die eine effiziente Projektbearbeitung ermöglichen. Ein wesentlicher Aspekt war hier die Reduzierung des ÖV-Netzes auf ein Knoten-Kanten-Modell, das konventionellen Schienenverkehr und HGV integriert.

3. Inkrementelle Nachfragemodellierung:

Die Nachfragemodellierung wurde stark an der empirischen Ist-Nachfrage ausgerichtet, die für den in diese Studie relevanten Schienenverkehr in hoher Qualität erarbeitet worden ist. Es wurde also bewusst auf klassische synthetische Modellierungsansätze verzichtet. Stattdessen wurden die Modellierung der Moduswahl und des induzierten Verkehrs mit empirischen Daten kalibriert.

4.2 Schlussfolgerungen für die europäische Verkehrspolitik

- Die aktuellen Pläne für den HGV-Ausbau reichen nicht aus, um das EU-Ziel einer Verdopplung des HGV-Verkehrs bis 2030 im Vergleich zur Basis 2015 zu erreichen.
- Das „Metropolitan Network“ mit einem erheblichen Ausbau der HGV-Infrastruktur bis 2050 wird die HGV-Nachfrage von 113 auf über 350 Mrd. Pkm pro Jahr erhöhen und damit das EU-Ziel einer Verdreifachung zur Basis 2015 leicht übertreffen.
- Der HGV-Marktanteil im Fernverkehr (über 100 km) steigt durch den Ausbau des HGV-Netzes von 5 Prozent im Jahr 2015 auf über 14 Prozent im Jahr 2050. Der Gesamtanteil des Schienenverkehrs insgesamt wächst von 11 Prozent auf 19 Prozent. Der Individualverkehr mit dem Pkw wird Marktanteile verlieren, und der Luftverkehr wird von 2030 bis 2050 einen leichten Rückgang verzeichnen.
- Bei Umsetzung des „Metropolitan Network“ bleibt Frankreich auch im Jahr 2050 der größte HGV-Markt in der EU, gefolgt von Deutschland, Italien und Spanien.
- Im östlichen Teil Europas entstehen neue HGV-Märkte, die bisher nicht oder nur in sehr geringem Umfang existierten, da heute dort derzeit keine oder nur eine sehr geringe HGV-Infrastruktur vorhanden ist.

- Der wichtigste Treiber für die HGV-Nachfrage ist die Verkürzung der Reisezeiten, die sich aus dem Ausbau der Infrastruktur und dem verbesserten Bahnangebot ergeben. Die Reisezeitverbesserungen bewirken eine Verlagerung von anderen Verkehrsträgern auf die Schiene und induziert Nachfrage.

Die Autor:innen sind überzeugt, dass diese Studie einen Beitrag zur aktuellen Diskussion leistet, wie die ambitionierten Ziele der Europäischen Union im HGV erreicht werden können. Die Studie zeigt, dass die derzeitigen TEN-V-Pläne für den Ausbau des Hochgeschwindigkeitsnetzes nicht ausreichen, sondern ein deutlich darüber hinaus gehender Netzausbau EU-weit erforderlich ist. Weitere Untersuchungen sind nötig, um zu zeigen, wie die Wirkung eines HGV-Infrastrukturausbaus durch ergänzende politische Maßnahmen, wie die Besteuerung von Flugkraftstoff, verstärkt werden kann.

4.3 Empfehlungen

Die Autor:innen empfehlen zur Erreichung der EU-Ziele die Entwicklung einer HGV-Infrastruktur in der Größenordnung des „Metropolitan Network“, das weit über die derzeitigen TEN-V-Pläne hinausgeht. In fast allen Mitgliedstaaten sind erhebliche Aus- und Neubaumaßnahmen und damit einhergehende Investitionen erforderlich, die den Rahmen der derzeitigen Finanzierungsmechanismen überschreiten. Um die benötigten Maßnahmen realisieren zu können, müssen geeignete regulatorische Rahmenbedingungen und neue Finanzierungsinstrumente auf europäischer Ebene entwickelt werden.

5 Literatur

- [1] Bierlaire, M. (2023),. [Technical report TRANSP-OR 230620](#). Transport and Mobility Laboratory, ENAC, EPFL.
- [2] Cascetta, E., Coppola, P. (2011), [High speed rail demand: empirical and modelling evidence from Italy](#). European Transport Conference 2011.
- [3] Cascetta, E., Coppola, P. (2013), High Speed Rail (HGV) induced demand models. EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, Elsevier.
- [4] Deutsche Bahn AG (2023), [Metropolitan Network: A strong European railway for an ever closer union](#), Frankfurt am Main.
- [5] European Commission (2021a), [Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future](#), COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. Brüssel.
- [6] European Commission (2021b), [Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Union guidelines for the development of the trans-European transport network, amending Regulation \(EU\) 2021/1153 and Regulation \(EU\) No 913/2010 and repealing Regulation \(EU\) 1315/2013](#), Brüssel.
- [7] Eurostat (2018), [Methodological manual on territorial typologies | 2018 edition](#), Luxembourg.

- [8] Eurostat (2022), [EU Transport in figures: Statistical Pocketbook 2022](#), Publications Office, Luxembourg.
- [9] EY (2023), [Smart and affordable rail services in the EU: a socio-economic and environmental study for High-Speed in 2030 and 2050](#). Released on EU Publications 2023-08-21, Brüssel.
- [10] Fiorello, D., Martino, D., Zani, L., Christidis, P., Navajas-Cawood, E. (2016), [Mobility data across the EU 28 member states: results from an extensive CAWI survey](#). Transportation Research Procedia, Elsevier.
- [11] Fiorello, D., Nökel, K., Martino, A. (2017), [The TRIMODE integrated model for Europe, European Transport Conference 2017](#), Barcelona.
- [12] Frei, A., Kuhnimhof, T., Axhausen, K. (2010), [Long distance travel in Europe today. Experiences with a new survey](#), Zürich.
- [13] Friedrich, M., K. Noekel and P. Mott (2000), [Keeping Passenger Surveys up-to-date: A Fuzzy Approach](#). TRB Annual Meeting 2000, Washington D.C.
- [14] Gobierno de España (2029), [Informe 2019: Observatorio del Ferrocarril en España](#), Madrid.
- [15] Rail Delivery Group (2018), [Passenger Demand Forecasting Handbook \(PDFH\)](#), 6th Edition. London.
- [16] Scherr, W., P. Bützberger (2016), [Calibration of the Swiss Rail Model Using Longitudinal Demand Observation](#). Swiss Transportation Research Conference, Ascona.