

**MINIMALINVASIVE LÖSUNGSANSÄTZE
ZUR BESSEREN TRASSENTÉCHNISCHEN
VERTRÄGLICHKEIT VON INTEGRALEM
TAKTFAHRPLAN, TAKTÜBERLAGERTEN
PERSONENFERNVERKEHRZÜGEN SO-
WIE GÜTERZÜGEN**

13.06.2024

Zertifiziert nach ISO 9001

INHALTSVERZEICHNIS

0.	Executive Summary	4
1.	Einleitung und Veranlassung.....	5
2.	Methodik und thematische Abgrenzung	13
2.1.	Sicherungstechnische Rahmenbedingungen.....	13
2.2.	Berechnungsannahmen	13
2.2.1.	Referenzfälle	15
2.2.1.1.	Zugfolgezeiten zwischen Zügen der gleichen Fahrtrichtung.....	15
2.2.1.2.	Zugfolgezeiten im Zusammenhang mit Gegengleisfahrten	19
3.	Untersuchte Lösungsansätze und ihre Wirkungsbeiträge	23
3.1.	Lösungsansätze zur Entflechtung von Fahrwegen vor Überholbahnhöfen.....	23
3.1.1.	Allgemeine Berechnungen zur Verkürzung von Zugfolgezeiten durch Entflechtung von Fahrwegen vor Überholvorgängen	23
3.1.1.1.	Wirkung der Entflechtung von Fahrwegen unmittelbar vor bzw. im Überholbahnhof.....	23
3.1.1.2.	Wirkung der Entflechtung von Fahrwegen in größerer Entfernung vom Überholbahnhof.....	25
3.1.2.	Selektiv mehrgleisiger Ausbau.....	28
3.1.2.1.	Überholungen zwischen Personennah- und -fernverkehr unter Nutzung eines Dreigleisabschnitts ohne Haltestelle.....	28
3.1.2.2.	Überholungen zwischen Personennah- und -fernverkehr unter Nutzung eines Dreigleisabschnitts mit Haltestelle	30
3.1.2.3.	Überholungen zwischen Güterverkehr und Personenfernverkehr unter Nutzung eines Dreigleisabschnitts.....	33
3.1.3.	Gegengleisfahrten.....	35
3.1.3.1.	Überholung zwischen Personennah- und -fernverkehr mit Gegengleisfahrt unmittelbar vor dem Überholbahnhof.....	35
3.1.3.2.	Überholung zwischen Güterverkehr und Personenfernverkehr mit Gegengleisfahrt unmittelbar vor dem Überholbahnhof.....	37
3.1.4.	Kombinationen von selektiv mehrgleisigem Ausbau und Gegengleisfahrten.....	38
3.1.4.1.	Kurzer Dreigleisabschnitt und lange Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug ohne Haltestelle im Gegengleisabschnitt	38
3.1.4.2.	Kurzer Dreigleisabschnitt und lange Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug mit Haltestelle im Gegengleisabschnitt....	39

3.1.4.3.	Kurzer Dreigleisabschnitt und lange Gegengleisfahrt bei Überholung eines Güterzugs durch einen Personenfernverkehrszug.....	40
3.1.4.4.	Langer Dreigleisabschnitt und kurze Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug ohne Haltestelle im Dreigleisabschnitt	42
3.1.4.5.	Langer Dreigleisabschnitt und kurze Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug mit Haltestelle im Dreigleisabschnitt	44
3.1.4.6.	Langer Dreigleisabschnitt und kurze Gegengleisfahrt bei Überholung eines Güterzugs durch einen Personenfernverkehrszug.....	45
3.2.	Sonstige Lösungsansätze.....	46
3.2.1.	Versetzte Anordnung von Haltebahnhöfen des Fernverkehrs und Möglichkeiten für Fernverkehr-Güterverkehr-Überholungen.....	46
3.2.2.	Bereitstellung einer Nachschiebehilfe für Güterzüge im Bahnhofsbereich	48
3.2.3.	Durchfahrt eines taktüberlagerten Fernverkehrszuges in der Übergangszeit zwischen Nah- und Fernverkehr im Taktknoten.....	51
3.2.4.	Verkürzung der Aufenthaltszeit von Zügen an ihren Endbahnhöfen	52
4.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	55
4.1.	Potenziale einzelner und Gesamtpotenzial aller erwogenen Maßnahmen	55
4.2.	Abwägung kapazitätsbezogener Vor- und Nachteile des Gegengleisfahrens über kürzere oder längere Abschnitte.....	56
4.3.	Aufwand-Wirkungs-Beurteilung selektiv mehrgleisiger Ausbauten	57
4.4.	Bedeutung geeigneter Gleiskonfigurationen für effiziente Übergänge zwischen Mehrgleisabschnitten, Gegengleisfahrten und Bahnhofsbereichen.....	59
5.	Verzeichnisse	62
5.1.	Allgemeine Angaben	62
5.2.	Abkürzungsverzeichnis.....	62
5.3.	Abbildungsverzeichnis	62
5.4.	Quellenverzeichnis.....	65

0. EXECUTIVE SUMMARY

Sowohl aus den gesellschaftlichen Erwartungen an das weitaus überwiegend staatlich finanzierte System Eisenbahn als auch aus der Marktentwicklung und den aktuellen Verhandlungen zur EU-Eisenbahnkapazitätsverordnung ist abzuleiten, dass der integrale Taktfahrplan in Österreich wie auch in anderen EU-Mitgliedsstaaten nur aufrechterhalten werden kann, wenn Lösungen gefunden werden, um auch taktüberlagerte Personenfernverkehrszüge mit attraktiven Fahrzeiten zu ermöglichen, ohne den integralen Taktfahrplan beispielsweise durch Anschlussbrüche, Taktlücken oder Haltausfälle zu schädigen.

Die Dringlichkeit der Klimakrise und der Budgetkonsolidierungsbedarf, aber auch die aktuelle Marktentwicklung im Segment des Schienenpersonenfernverkehrs und der erwartete Umsetzungszeitraum der Kapazitätsverordnung machen klar, dass diese Herausforderung nicht damit gelöst werden kann, dass zusätzlich zur bereits bisher geplanten Eisenbahn-Infrastrukturentwicklung neue Großprojekte erarbeitet werden.

Zielsetzung für diesen Bericht war daher, Lösungsansätze für kleinere, gezielte Infrastrukturausbauten und sonstige Maßnahmen zu erarbeiten, um die Verträglichkeit von integralem Taktfahrplan, taktüberlagerten Personenfernverkehrszügen und Güterzügen soweit zu verbessern, dass die unterschiedlichen Interessen hinsichtlich integralem Taktfahrplan, Marktbelegung und neuen grenzüberschreitenden Fernverkehrsangeboten miteinander in Einklang gebracht werden können.

Folgende vielversprechende Lösungsansätze konnten dabei identifiziert werden:

- Dreigleisige Ausbauten in der Größenordnung einiger Kilometer Streckenlänge im Nahbereich von Knoten- bzw. Überholbahnhöfen^a
- Gegenüber den Haltebahnhöfen des Personenfernverkehrs räumlich versetzte Güterzug-Überholbahnhöfe
- Nutzung der Mindestübergangzeiten zwischen taktintegrierten Personennah- und -fernverkehrszügen zur Durchfahrt taktüberlagerter Personenfernverkehrszüge
- Nachschiebehilfen für Güterzüge beim Anfahren in Überholbahnhöfen zwecks Reduktion der Fahrzeitunterschiede zwischen Personenfernverkehrszügen und Güterzügen auf kapazitätsbezogen besonders kritischen Abschnitten.

^a Nachdem im ETCS-only-Betrieb mit kurzen Hochleistungsblöcken die Zugfolge zwischen zwei Abfahrten wesentlich kürzer gehalten werden kann als zwischen zwei Ankünften, ist die Entflechtung der Fahrwege vor Ankunft wesentlich wichtiger als nach Abfahrt, daher sind hier Dreigleisigkeiten zweckmäßig und mit symmetrischen Fahrplänen vereinbar.

I. EINLEITUNG UND VERANLASSUNG

Entsprechend der großen finanziellen Mittel, die für Ausbau, Erhaltung und Betrieb des Systems Eisenbahn ausgegeben werden, bestehen auch hohe gesellschaftliche Erwartungen an das Eisenbahnenwesen. Immer öfter kommt es dabei zu Interessenskonflikten hinsichtlich der Nutzung begrenzter Infrastrukturkapazitäten zu unterschiedlichen Zwecken. Neben einer allgemeinen Interessensabwägung zwischen den drei Marktsegmenten Güterverkehr, Personennahverkehr und Personenfernverkehr sind zwei Schwerpunkte speziell hervorzuheben:

- **Unterschiedliche Geschwindigkeiten:** Güterzüge und Personennahverkehrszüge sind je nach Haltestellenabstand und Streckenhöchstgeschwindigkeit meistens etwa gleich schnell unterwegs. Personenfernverkehrszüge legen die gleiche Strecke hingegen in wesentlich kürzerer Zeit zurück, insbesondere auf Aus- oder Neubaustrecken. Sofern die betreffenden Achsen nicht viergleisig ausgebaut sind, bewirkt diese sogenannte „Fahrzeitspreizung“, dass insgesamt wesentlich weniger Züge verkehren können als wenn alle Züge gleich schnell fahren würden. Zwar kann die Anzahl Züge gesteigert werden, indem fahrplan- und infrastrukturseitig möglichst viele Überholungen in Zwischenbahnhöfen vorgesehen werden, diese verlängern aber die Fahrzeit der zu überholenden Personennahverkehrs- und Güterzüge, bei letzteren verursachen sie auch einen erheblichen zusätzlichen Energieverbrauch.
- **Integraler Taktfahrplan versus Wettbewerb und neue Langstrecken-Direktverbindungen:** Österreich und viele andere europäische Staaten setzen bei Infrastrukturausbau und Fahrplangestaltung auf das Prinzip des integralen Taktfahrplans. Dies bedeutet eine starke Wechselwirkung zwischen Fahrplangestaltung und Infrastrukturentwicklung: Um im integralen Taktfahrplan Taktknoten bilden und Umsteigezeiten optimieren zu können muss die Infrastruktur so ausgebaut werden, dass die erforderlichen Intervalle und Fahrzeiten zwischen den Umsteigeknoten eingehalten werden können. Systematische Änderungen im integralen Taktfahrplan sind daher oft nur mit mehr als zehnjähriger Vorlaufzeit und großen Investitionssummen möglich. Um überschießende Ausbaukosten zu vermeiden, geschieht der Infrastrukturausbau häufig weitgehend maßgeschneidert für das zugrundeliegende Fahrplankonzept. Das bewirkt jedoch, dass es kurz- bis mittelfristig nicht möglich ist, zusätzliche Personenfernverkehrszüge mit wettbewerbsfähig kurzen Fahrzeiten im Fahrplan unterzubringen, ohne dass es zu gravierenden Nachteilen bei den Fahrplänen der bestehenden Züge kommt. Solche Verschlechterungen sind in erster Linie Fahrzeitverlängerungen im Personennahverkehr (bedingt durch zusätzliche Überholvorgänge) und in weiterer Folge entweder der Verlust von Anschlussbeziehungen in Knotenbahnhöfen (also je nach Intervall eine halbe Stunde bis zwei

Stunden Wartezeit auf den nächsten Anschlusszug) oder die Auffassung von Zwischenhalten, um den Anschluss doch noch zu ermöglichen. Zugleich besteht jedoch aus unterschiedlichen Richtungen großes Interesse an der Ermöglichung zusätzlicher Personenfernverkehrszüge:

- Die aus Klimaschutzperspektive bedeutendste Verkehrsverlagerung ist jene von der Passagierluftfahrt zum Eisenbahnpersonenfernverkehr¹. Um diese Verkehrsverlagerung zu erreichen, muss sowohl ausreichende Kapazität im Sinne von ausreichend vielen und langen Zügen geschaffen werden als auch ausreichende Attraktivität für die Fahrgäste. Beides spricht dagegen, die vom Flugzeug zur Eisenbahn zu verlagernde Nachfrage einfach in den bestehenden Fernverkehrszügen zu befördern: Erstens sind diese Züge bereits gut ausgelastet und es würde damit keine zusätzliche Beförderungskapazität geschaffen, es sei denn, die Züge könnten noch verlängert oder von einstöckig auf doppelstöckig umgestellt werden. Zweitens ist das bestehende Fahrplanangebot der Eisenbahn auf wesentlich kürzere Reisedistanzen optimiert als für eine Verlagerung nennenswerter Verkehrsnachfrage vom Flugzeug notwendig wäre. Wer also beispielsweise eine etwa drei- bis vierstündige Flugreise (inklusive Wartezeiten und Wege zum und vom Flughafen) durch eine Bahnfahrt ersetzen möchte, muss nicht nur etwa die dreifache Reisezeit einplanen, er oder sie ist auch noch mit häufigen Umstiegen konfrontiert. Dabei kommt erschwerend hinzu, dass Umsteigezeiten, die für erfahrene Stammkundenschaft auf mittellangen Fahrtrationen optimiert sind, für gelegentliche Fahrgäste mit viel Gepäck auf ihnen unbekanntem Bahnhöfen zu kurz sind. Neue Direktverbindungen über längere Quell-Ziel-Routen wären also von entscheidender Bedeutung für die Attraktivität der Eisenbahn als Alternative zum Flugzeug.
- Die heute umgesetzten integralen Taktfahrpläne, stammen größtenteils noch aus der Zeit vor der Eisenbahnliberalisierung und werden insbesondere im Fernverkehr fast ausschließlich von den etablierten Verkehrsunternehmen (Incumbents, bisherige Staatsbahnen) gefahren. Dass diese Verkehre bis heute entsprechend der zugrunde liegenden Konzepte und Prinzipien des integralen Taktfahrplans gefahren werden können, liegt im Wesentlichen daran, dass die etablierten Verkehrsunternehmen weiterhin einen sehr

hohen Marktanteil haben, im Open-Access^b-Wettbewerb neu eingetretene Verkehrsunternehmen (New Entrants) in den Ländern mit integralem Taktfahrplan also immer noch in so geringer Zahl und mit so geringer Verkehrsleistung aktiv sind, dass es nur vereinzelt zu Trassenkonflikten kommt. In den letzten Jahren haben jedoch die Aktivitäten am Open-Access-Verkehrsmarkt (tatsächliche und versuchte Markteintritte oder Ausweitungen der Fahrplanangebote) stark zugenommen. Maßgebliche politische Akteure wie die EU-Kommission, erhebliche Teile des EU-Parlaments und Regierungen einiger EU-Staaten sehen in einem lebendigen Open-Access-Wettbewerb mit großer Beteiligung von New-Entrant-Verkehrsunternehmen den Schlüssel zur Steigerung von Effizienz und Konkurrenzfähigkeit der Eisenbahn gegenüber anderen, umweltschädlicheren Verkehrsmitteln. Den integralen Taktfahrplan durch Hemmung der Open-Access-Marktentwicklung schützen zu wollen ist daher politisch und rechtlich unrealistisch. Deutlich mehr Erfolg verspricht ein Ansatz, der im Rahmen des Projekts TimeTableRedesign (TTR) und der aktuell im ordentlichen Gesetzgebungsprozess befindlichen EU-Eisenbahnkapazitätsmanagementverordnung verfolgt wird: Anstelle jährlich neuer Trassenbestellprozesse sollen mehrjährige Rahmenverträge und eine strategische Kapazitätsplanung des Infrastrukturbetreibers höheres Gewicht bekommen. Dennoch hat sich im bisherigen Verhandlungsverlauf zur Verordnung klar herauskristallisiert, dass zumindest kein Konsens besteht, integrale Taktfahrpläne um jeden Preis aufrechtzuerhalten. Vielmehr erscheinen regulatorische Maßnahmen zur Absicherung des integralen Taktfahrplans im Kapazitätszuweisungsprozess nur dann mehrheitsfähig, wenn sie die unternehmerische Freiheit der (potenziell) Trassen begehrenden Eisenbahnverkehrsunternehmen möglichst wenig einschränken.

Theoretisch wäre sowohl das Ziel neuer Langstrecken-Direktverbindungen als auch mehr Wettbewerb im Schienenpersonenverkehr auch (ausschließlich) auf Grundlage von Trassen des integralen Taktfahrplans möglich. Takttrassen des nationalen bzw. Mittelstreckenverkehrs könnten miteinander zu grenzüberschreitenden Trassen besonders langer Laufwege kombiniert, die Züge also durchgebunden werden. Integraler Taktfahrplan präjudiziert auch in keiner Weise die direkte Beauftragung eines etablierten Verkehrsunternehmens ohne Wettbewerb: Es ist sowohl möglich, die Taktverkehre als gemeinwirtschaftliche Verkehre

^b Mit Open-Access ist hier die Erbringung von Verkehrsleistungen auf eigenes wirtschaftliches Risiko ohne gemeinwirtschaftliche Bestellung gemäß PSO-VO gemeint. Open-Access-Wettbewerb ist also der Wettbewerb direkt um Fahrgäste, nicht der Wettbewerb um öffentliche Verkehrsdienstaufträge. Auch etablierte Verkehrsunternehmen können im Open-Access tätig werden.

in einem wettbewerblichen Verfahren zu vergeben, als auch könnte die strategische Kapazitätsplanung einen strikten Rahmen vorgeben, der Personenfernverkehr, egal ob eigen- oder gemeinwirtschaftlich, nur in Form von Trassen des integralen Taktfahrplans zulässt.

Praktisch haben diese Überlegungen aber nur sehr geringe Umsetzungschancen, da eine Reihe von politischen und betrieblichen Hindernissen vorliegt:

- Durch ein möglichst vielfältiges Durchbinden unterschiedlicher nationaler bzw. Mittelstrecken-Taktzüge zu verschiedensten Langstrecken-Direktverbindungen könnten zwar die unpopulären Umstiege verringert werden, es bleibt aber das Problem, dass die Anzahl Züge pro Tag und Richtung auf den einzelnen Abschnitten gleichbleibt, also keine Beförderungskapazität hinzugefügt wird, außer die Kapazität pro Zug kann noch erhöht werden (Zuglänge, Doppelstockzüge statt eingeschossiger Züge).
- In einem erheblichen Anteil der in Frage kommenden Fälle können Durchbindungen nicht umgesetzt werden, beispielsweise, weil dafür ungewöhnliche, kapazitätsraubende Fahrwege in komplexen Knotenbahnhöfen nötig wären oder weil es zu einem relativ langen Aufenthalt im Knotenbahnhof käme, was ebenso an zu großem Kapazitätsverbrauch scheitern kann (Bahnsteigbelegung).
- Lange Zugläufe bedeuten in der Regel eine geringere Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit. Für lange Fahrtrelationen ist dies aus Sicht der Kundschaft durchaus akzeptabel, besonders, wenn die Direktverbindung im Gegenzug das Risiko von Anschlussbrüchen eliminiert. Werden die langen Zugläufe jedoch aus den regulären Taktzügen auf den einzelnen Abschnitten zusammengesetzt, so sind auch viele Fahrgäste betroffen, die lediglich einen relativ kurzen Abschnitt fahren möchten, sodass die Verspätungen viel stärker ins Gewicht fallen.
- Um das Taktsystem weiterhin für Fahrgastgruppen mit unterschiedlichsten Tickets (z.B. regionale Verbundfahrkarten oder Schüler- und Lehrlingsfreifahrt) offen und flexibel nutzbar zu halten, müsste das jeweilige Verkehrsunternehmen eine Unzahl an Tarifen anerkennen und hätte sehr geringen unternehmerischen Spielraum in der Tarifgestaltung. Beispielsweise könnte dann kein Verkehrsunternehmen auf eine Reservierungspflicht setzen.

- Werden nur einzelne Trassen aus einem tagesdurchgängigen Taktverkehr durch neue Langstrecken-Durchbindungen belegt, die einander nicht zufällig im betroffenen Abschnitt kreuzen, so stört dies den Fahrzeugumlauf der verbleibenden Züge. Ohne weitere Maßnahmen würde dies entweder Leerfahrten erfordern – für die wiederum mitunter keine Trassenkapazitäten vorhanden sind – oder zu höherem Fahrzeugbedarf für weniger Betriebsleistung führen. Bei einem vollständigen, systematischen Taktfahrplan ist es zwar denkbar, an den einzelnen Knotenbahnhöfen verschiedenste fehlende bzw. überschüssige Fahrzeuge unterschiedlicher Linien mit immer neuen Durchbindungen zu kompensieren. Dies würde aber nicht nur eine hundertprozentige Interoperabilität und einheitliche Garniturgrößen (Sitzplatzanzahlen) aller beteiligten Fahrzeuge bzw. Taktlinien erfordern, sondern auch hochkomplexe Koordinationsmechanismen zwischen allen (potenziell) beteiligten Verkehrsunternehmen.

Abgesehen von den rein fachlich-betrieblichen Problempunkten ist aus den bisherigen Entwürfen und Verhandlungsergebnissen zur EU-Eisenbahnkapazitätsmanagementverordnung (Kommissionsvorschlag², Parlamentsposition³ und Allgemeine Ausrichtung des Rates⁴) klar erkennbar, dass solcherart restriktive Regelungen und komplexe Mechanismen nicht mehrheitsfähig sind, selbst wenn sie geeignet sein sollten, ein sehr starres Korsett des integralen Taktfahrplans mit zunehmendem Wettbewerb und neuen Langstrecken-Direktverbindungen vereinbar zu machen. Ebenso wenig realistisch erscheint es, in großem Umfang neue grenzüberschreitende Verkehre in einer gemeinsamen Vergabe gemäß der PSO-VO über den gesamten Zuglauf gemeinwirtschaftlich zu bestellen, da manche Staaten die gemeinwirtschaftliche Bestellung von Fernverkehren grundsätzlich ablehnen und andere entweder grundsätzlich nicht an einer gemeinsamen Vorgehensweise interessiert sind oder sich mit ihren Nachbarstaaten nicht auf Art und/oder Zeitpunkt der Vergabe einigen können.

Es zeichnet sich daher ab, dass eine Erhaltung der integralen Taktfahrpläne in den kommenden Jahren nur dann mit der erwartbaren Belegung des Open-Access-Marktes sowie mit dem erwünschten Aufkommen neuer Langstrecken-Direktverbindungen vereinbar ist, wenn durch infrastrukturelle und/oder betriebliche Maßnahmen zusätzliche Fahrplantrassen des Personenfernverkehrs ermöglicht werden, die hinsichtlich Haltemuster und Reisezeiten gegenüber den Taktzügen nicht wesentlich schlechter gestellt sind und mit den Intervallen, Kantenzeiten und Umsteigebeziehungen des integralen Taktfahrplans vereinbart werden können. Solche Trassen können als „Nice-To-Have-Trassen“

bezeichnet werden, die im Gegensatz zu den „Must-Have-Trassen“ des integralen Taktfahrplans zu manchen Stunden auch ausfallen können, ohne dass systematisch vorgesehene Reiseketten mit Umstiegen dadurch verunmöglicht werden.

Das Risiko, dass sich zu diesem Zweck getätigte Infrastrukturausbauten als Fehlinvestitionen entpuppen, weil die gewünschten Zusatzverkehre am Markt doch nicht erbracht werden, ist insofern gering, als zusätzliche Spielräume in der Trassenkonstruktion und Betriebsabwicklung auch anderen Nutzen stiften können:

- Größere Pünktlichkeit und Betriebsstabilität durch abgemilderte Auswirkungen außerplanmäßiger Überholvorgänge verspäteter Züge
- Bessere Möglichkeiten zur Anpassung an baustellenbedingte Fahrzeitverlängerungen und Kapazitätseinschränkungen
- Mehr Flexibilität zur Fahrplangestaltung in Zwischenzeithorizonten (manche Elemente eines Infrastruktur- und Fahrplankonzepts bereits fertiggestellt, andere noch nicht)

Gezielte Maßnahmen zur Entschärfung von Kapazitätskonflikten würden insbesondere die Erweiterung des Nachtzugverkehrs erleichtern. Aufgrund geringerer Platzkapazität, häufiger Unpünktlichkeit und/oder schlechteren Beschleunigungsvermögens bzw. niedrigerer Höchstgeschwindigkeit kann ein Nachtzug nur selten einen Tagesrandzug ersetzen. Abends und insbesondere morgens stellen daher die Nachtzüge zumeist auch taktüberlagerte Züge dar, ungeachtet dessen, dass sie meist vom selben etablierten Verkehrsunternehmen betrieben werden wie die Taktzüge des Tagesverkehrs. In der Nacht wiederum muss abgewogen werden zwischen einer erheblichen, künstlichen Verlangsamung der Nachtzüge oder Nachteilen für den Güterverkehr (weniger Trassen, häufige Überholungen).

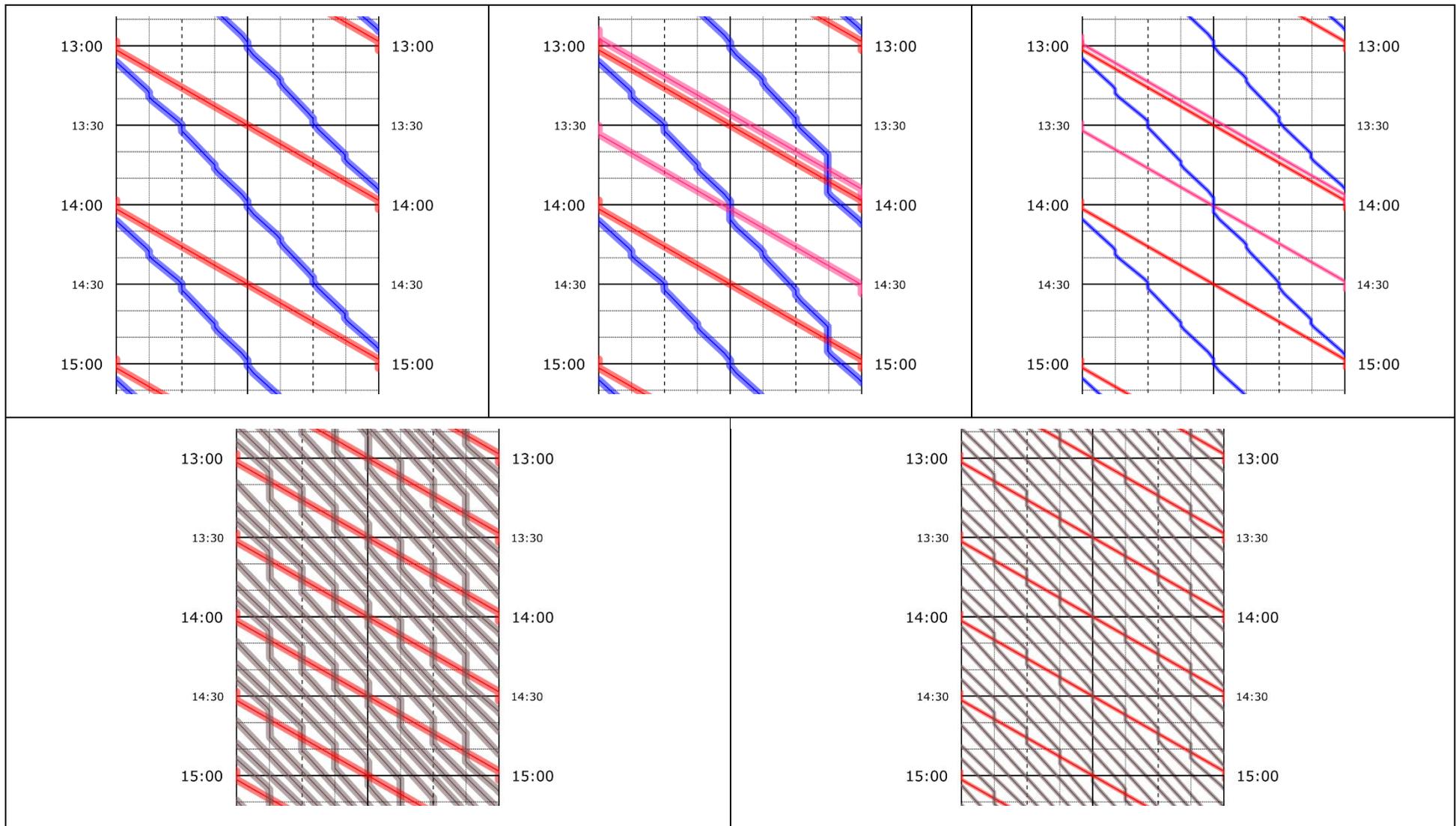


Abbildung 1: Schematische Bildfahrplandarstellung von Mischverkehrsstrecken mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten je Marktsegment (jeweils nur ein Richtungsgleis dargestellt)

Blau: Personennahverkehr, Rot: Personenfernverkehr im Takt, Rosa: taktüberlagerter Personenfernverkehr, Braun: Güterverkehr; starke, schmale Linien: eigentliche Zugtrassen; breitere, blassere Linien: Zugtrassen einschließlich halber Zugfolgezeiten vor und nach der Trasse

Links oben: Beispielhaftes Trassengefüge im integralen Taktfahrplan aus Personenfernverkehrszügen und Personennahverkehrszügen. Mitte oben: Fahrzeitverlängerung und Anschlussbrüche infolge zusätzlicher taktüberlagerter Fernverkehrszüge (Ankunft von Nahverkehrszügen erst nach dem Knoten zur vollen Stunde). Rechts oben: Aufrechterhaltung von Anschlüssen, ermöglicht durch verkürzte Zugfolgezeiten.

Unten: Beispielhaftes Trassengefüge von Personenfernverkehr und Güterverkehr, links mit längeren und rechts mit kürzeren Zugfolgezeiten

Eine aussagekräftige Kennzahl für die Kapazität einer Bahnstrecke sind die Zugfolgezeiten, welche unter anderem vom verwendeten Zugsicherungssystem, der Länge der Blockabschnitte und diversen Eigenschaften der Züge selbst abhängen. In Abbildung I ist die Auswirkung unterschiedlicher Zugfolgezeiten auf die Kapazität von Strecken im Mischverkehr (Personennah- & -fernverkehr bzw. Personenfern- & Güterverkehr) dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Mischverkehr (Fahrzeitspreizung) sind insbesondere die unmittelbar vor bzw. nach den Überholbahnhöfen erzielbaren Zugfolgezeiten von Bedeutung, da an diesen Stellen die Trassen unterschiedlicher Geschwindigkeit am dichtesten aneinander heranrücken. Je kürzer die Zugfolgezeiten unmittelbar vor und nach der Überholung, umso länger die Streckenabschnitte, die die langsameren Züge ohne Überholung zurücklegen können und umso geringer deren Zeitverlust pro Überholung. Die gesamte vorliegende Untersuchung konzentriert sich daher auf die Zugfolge im Nahbereich von Überholbahnhöfen^c.

Sowohl aus dem Gesichtspunkt des Klimaschutzes als auch des erwartbaren Umsetzungszeitraums der Eisenbahn-Kapazitätsmanagementverordnung bzw. der gegenwärtigen Marktentwicklung kämen klassische Eisenbahngroßprojekte wie viergleisige Ausbauten über lange Streckenabschnitte zu spät und wären möglicherweise auch zu teuer bzw. mit zu großen Treibhausgasemissionen der Bauphase verbunden. In der vorliegenden Untersuchung sollen daher kleinere, schneller und kostengünstiger umsetzbare Maßnahmen erarbeitet und geprüft werden.

^c Hinsichtlich Geschwindigkeitsspreizung und Kapazitätsbedarf liegen bei Überholungen zwischen schnelleren und langsameren Zügen die gleichen Herausforderungen vor wie bei einem Knotenbahnhof des integralen Taktfahrplans, bei dem langsamere Nahverkehrszüge von schnelleren Fernverkehrszügen eingeholt werden, in diesem Bahnhof aber enden und somit nicht überholt werden. Zwecks leichter Lesbarkeit werden in diesem Bericht ausschließlich die Begriffe „Überholung“ und „Überholbahnhof“ verwendet, obwohl es sich strenggenommen um „Überholungen bzw. Einholungen“ und „Überhol- bzw. Knotenbahnhöfe“ handelt.

2. METHODIK UND THEMATISCHE ABGRENZUNG

2.1. Sicherungstechnische Rahmenbedingungen

Die vorliegende Untersuchung beruht auf Berechnungen zu Brems- und Beschleunigungsvorgängen sowie erzielbaren Zugfolgezeiten von Personen- und Güterzügen. Für alle Berechnungen (Maßnahmefälle und Referenzfälle) wurde ein ETCS-only-Betrieb unterstellt. Es wurden keine Referenzfälle und Vergleiche mit Bezug auf PZB-Betrieb erarbeitet. Ebenso wenig wird auf spezifische Problempunkte der Umstellung von PZB auf ETCS eingegangen, wie beispielsweise unzureichende Durchrutschwege oder die Möglichkeiten der Entlassung aus einer zu restriktiven Bremskurvenüberwachung nahe am Haltepunkt. Es wurde unterstellt, dass diese Herausforderungen gelöst werden, selbst wenn dafür bestimmte Gleistopologien erforderlich sein werden, die nicht exakt den dargestellten Schemata entsprechen.

2.2. Berechnungsannahmen

Sofern bei den einzelnen Maßnahmen keine anderen Angaben oder stärker differenzierten Ergebnisse angeführt werden, wurde mit folgenden Eingangsdaten gerechnet:

- Höchstgeschwindigkeiten:
 - Personenfernverkehr: 200 km/h
 - Personennahverkehr: 160 km/h
 - Güterverkehr: 100 km/h
- Zuglänge:
 - Personenfernverkehr: 400 m
 - Personennahverkehr: 200 m
 - Güterverkehr: 700 m
- Eingesetzte Zuggarnituren und Berechnungsparameter für Beschleunigung und Bremsung in der benutzten Fahrplansoftware FBS (Fahrplan-Bearbeitungs-System):
 - Personenfernverkehr (für Beschleunigungsrechnung bei Höchstgeschwindigkeit über 160 km/h): Siemens Eurosprinter ES64U4 mit 7 Wagen, Gesamtgewicht aller Wagen 385 t, Bremsstellung 150 R. Bei Ausschöpfen der angenommenen Zuglänge wären ähnlich der Doppelgarnituren des Railjet I der ÖBB-Personenverkehr AG zwei solche Garnituren zu kuppeln. Der daraus resultierende Unterschied in der Fahrdynamik zwischen einer kürzeren und einer längeren Garnitur mit gleichem Masse-Leistungs-Verhältnis wurde vernachlässigt.

- Personennahverkehr (und Personenfernverkehr für sonstige Berechnungen): Siemens Desiro ML, dreiteilig, Bremsstellung 150 R.
- Güterverkehr: Siemens Eurosprinter ES64U4 mit 47 zweiachsigen Güterwagen und 2115 t Wagenzuggewicht; Anwendung der Fahrwiderstandsformeln für Reisezugwagen, Bremsstellung 80 R.

Im FBS wurden für den beispielhaften Streckenabschnitt Tullnerfeld – St. Pölten Beispielzüge mit diesen Parametern angelegt und daraus Beschleunigungs- und Bremsverläufe erhoben. Für die Bremsung wirkt FBS eine durchgehend gleichförmige Verzögerung von $0,6966 \text{ m/s}^2$ für die betrachteten Beispiel-Reisezüge und $0,3567 \text{ m/s}^2$ für die betrachteten Beispiel-Güterzüge aus. Für die Berechnung der Beschleunigung berücksichtigt FBS die unterschiedlichsten, teils geschwindigkeitsabhängigen Fahrwiderstände sowie das Zugkraftdiagramm des Triebfahrzeugs und gibt daher eine Zeit-Geschwindigkeit und Zeit-Weg-Funktion in Tabellenform in 1-km/h-Schritten aus. Wo berechnungstechnisch erforderlich, wurden diese Werte gerundet oder interpoliert.

- Parameter für ETCS-Bremskurven:
 - Unabhängig von der Berechnung von Bremsweg und -zeit für die Betriebsbremsungen gemäß FBS wurden die Bremskurven berechnet, die für Bremsindikationen und -warungen sowie Zwangsbremsungen im ETCS-Betrieb maßgeblich sind. Aus diesen ergibt sich die vor einem mit einer bestimmten Geschwindigkeit fahrenden Zug benötigte freie Gleisabschnittslänge, die wiederum großen Einfluss auf die erzielbare Zugfolgezeit hat. Diese Bremskurven wurden mit dem von der Europäischen Eisenbahngesellschaft (ERA) zur Verfügung gestellten Excel-File⁵ berechnet.
 - Personenfern- und -nahverkehrszüge: 150 Bremshundertstel, 160 m Zuglänge, mit adhäsionsunabhängiger Bremse, Lambda-Modell, Bremsstellung P, 7,81 m von Zugspitze bis Antenne
 - Güterzüge: 80 Bremshundertstel, 700 m Zuglänge, ohne adhäsionsunabhängige Bremse, Lambda-Modell, Bremsstellung P, 7,81 m von Zugspitze bis Antenne
 - Für alle Berechnungen wurde der Eintrag „Indication“, also der vorsichtigste Wert, herangezogen.
- Länge von Blockabschnitten: 200 m
- Länge von Weichenbereichen im Zusammenhang mit Gegengleisfahrten oder kreuzenden Ein- und Ausfahrten: 150 m pro Weiche, also 300 m für eine Überleitstelle oder die Weichenverbindungen einer kreuzenden Ein- bzw. Ausfahrt (von Grenzmarke bis Grenzmarke).

- Nachbelegungszeit im Sinne des Zeitablaufs vom Freifahren eines Gleisabschnitts durch den voranfahrenden Zug bis zur Freigabe zur Einfahrt des nachfolgenden Zuges, einschließlich der eventuell erforderlichen Zeit zum Umstellen von Weichen: 30 Sekunden.

Die Bildfahrplandarstellungen zu den einzelnen Lösungsansätzen und den verglichenen Referenzzuständen (Abbildung 2 bis Abbildung 10, Abbildung 15 bis Abbildung 29 sowie Abbildung 33) wurden auf Basis von Berechnungen in MS Excel in Inkscape erstellt. Die Steigung der Linien im Bereich der Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit sowie die Übergangspunkte zwischen konstanter Geschwindigkeit und Verzögerung bzw. zwischen Beschleunigung und konstanter Geschwindigkeit sind errechnet und somit maßstabsgetreu, ebenso die Punkte von Anhalten und Abfahren. Lediglich die jeweilige Krümmung der Zeit-Weg-Linien im Brems- und Beschleunigungsbereich wurde nach Augenmaß gezeichnet. Die Zeit-Weg-Linien beziehen sich stets auf die Mitte des Zuges. Die jeweils mit der Bildfahrplandarstellung korrespondierenden Gleisschemata sind in Längsrichtung maßstäblich zu verstehen, in Querrichtung und in Bezug auf Krümmungsradien bei Weichen hingegen schematisch. Aus berechnungstechnischen Gründen mussten in einzelnen Fällen Unschärfen in Kauf genommen werden, etwa durch iterative anstatt analytischer Berechnungen oder durch Vernachlässigung von Effekten unterschiedlicher Zuglängen im Hinblick auf die exakte Halteposition im Bahnhof.

2.2.1. Referenzfälle

2.2.1.1. Zugfolgezeiten zwischen Zügen der gleichen Fahrtrichtung

Als Referenzfälle für die im folgenden beschriebenen Maßnahmen dienen Überholungen zwischen einem Personenfernverkehrszug (im betreffenden Bahnhof haltend oder durchfahrend) und einem Nahverkehrs- oder Güterzug. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Verzweigung in unterschiedliche Bahnhofsgleise so spät erfolgt, wie es gerade noch möglich ist, damit die zwei Züge entsprechend der Zuglängen des längeren Zuges grenzfrei auf unterschiedlichen Gleisen stehen:

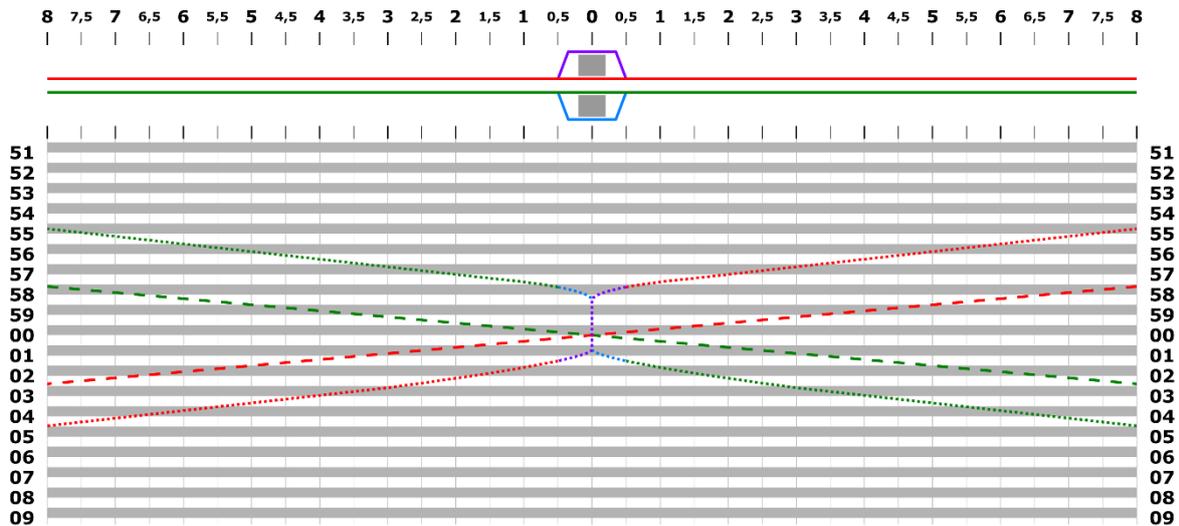


Abbildung 2: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktiert) durch Personenfernverkehrszügen (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

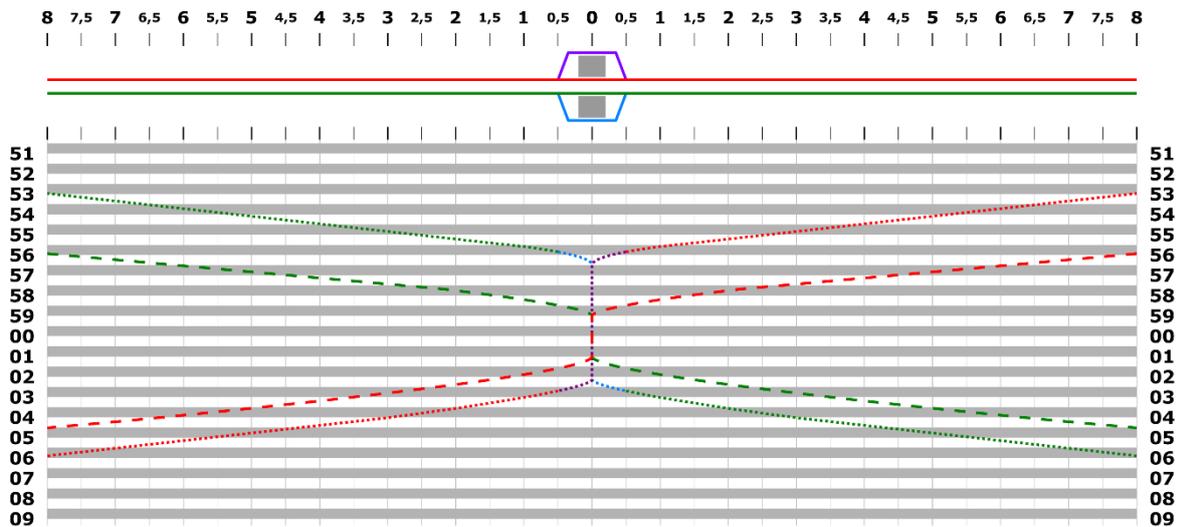


Abbildung 3: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktiert) durch Personenfernverkehrszügen (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

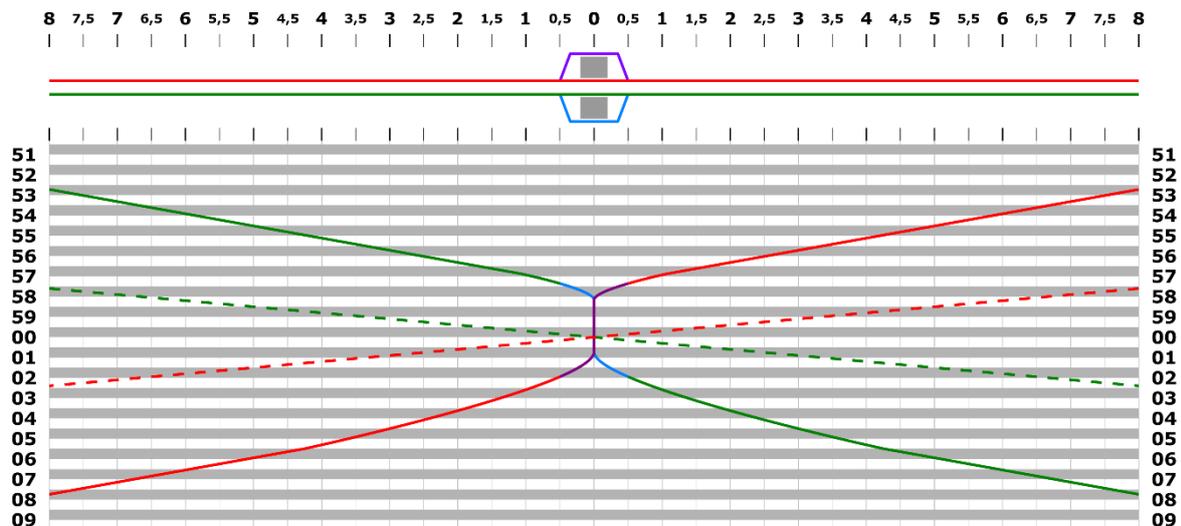


Abbildung 4: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

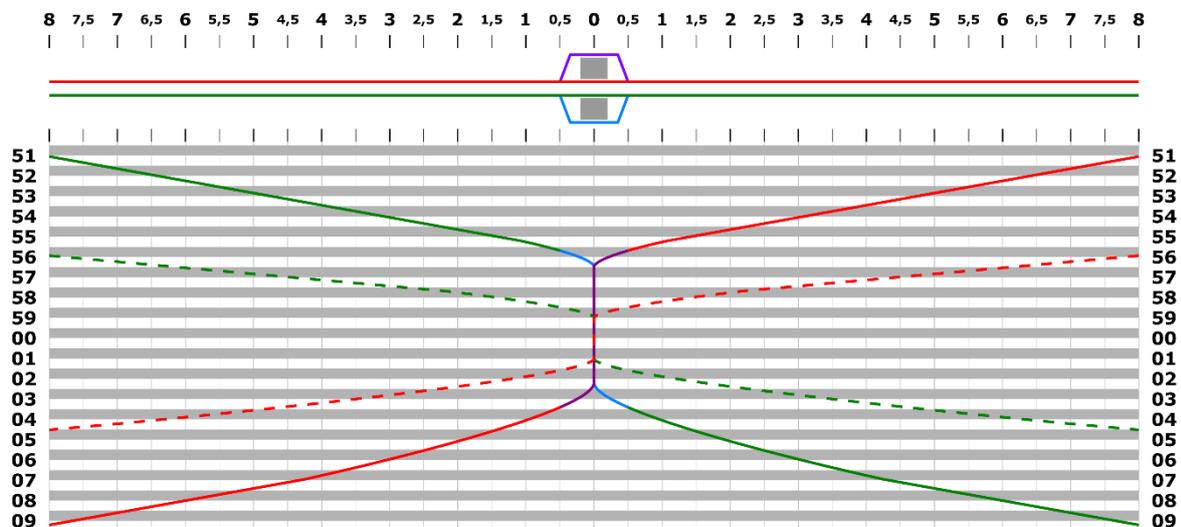


Abbildung 5: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Zur besseren Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen Referenz- und Maßnahmenfällen werden die Bildfahrplandarstellungen dieser Referenzfälle (Abbildung 2 bis Abbildung 5) bei diversen Bildfahrplandarstellungen der Maßnahmenfälle (Abbildung 15 bis Abbildung 29 sowie Abbildung 33) wiederholt.

In allen vier Referenzfällen ist die Zugfolgezeit vor der Abfahrt des überholten Zuges deutlich kürzer als die Zugfolgezeit nach dessen Ankunft. Dies liegt daran, dass ein erheblicher Teil der Zugfolgezeiten von konstant fahrenden oder bremsenden Zügen auf das Durchfahren des gemäß ETCS-Bremskurven anzusetzenden Bremsweges entfällt, der vor dem Zug freizuhalten ist. Beim Anfahren aus dem Stand ist dieser Bremsweg hingegen theoretisch gleich null und praktisch immer noch wesentlich kürzer als der Weichenbereich, der vom durchfahrenden Zug freigefahren werden muss, bevor die Nachbelegungszeit zu laufen beginnt und der überholte Zug anfahren kann. Bei der Abfahrt wird daher für die Berechnung der Zugfolgezeit keine Durchfahrzeit eines Bremswegs gemäß ETCS-Bremskurve wirksam.

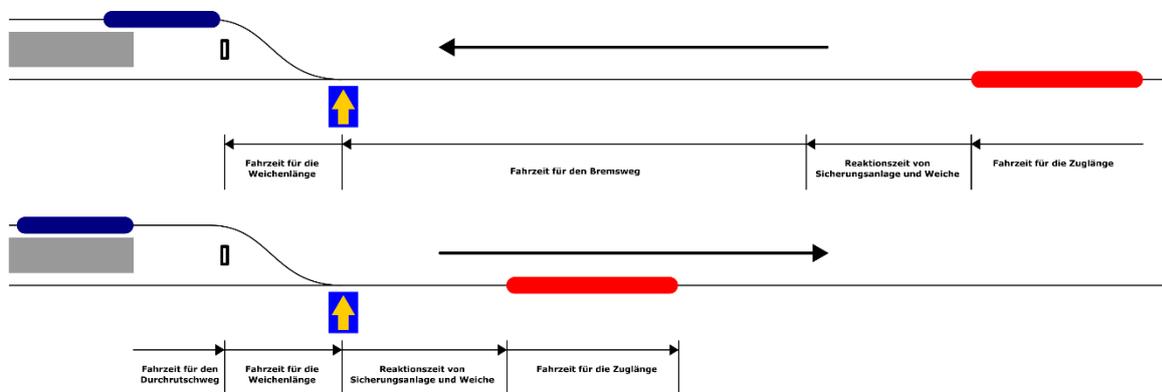


Abbildung 6: schematische Darstellung der wesentlich längeren Zugfolgezeiten vor der Einfahrt auf verschiedene Gleise gegenüber wesentlich kürzeren Zugfolgezeiten nach der Ausfahrt von verschiedenen Gleisen unter ETCS und der jeweiligen Komponenten dieser Zugfolgezeiten.

Im PZB-Betrieb wäre der Unterschied aus zwei Gründen wesentlich geringer: Erstens, weil hier bei gleicher Geschwindigkeit (im Rahmen der mit PZB überhaupt zulässigen Geschwindigkeiten) der Vorsignalabstand wesentlich kürzer ist als die Bremswege gemäß ETCS-Bremskurvenberechnung. Zweitens, weil die Blockabschnitte im PZB-Betrieb aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wesentlich länger sind, als bei einem ETCS-only-Betrieb mit Hochleistungsblockteilung. Dadurch ist die in Abbildung 6 dargestellte sehr kurze Zugfolge nach der Ausfahrt im PZB-Betrieb nicht machbar, weil der vorausfahrende Zug den auf die Ausfahrweiche folgenden Blockabschnitt noch nicht freigefahren hätte bis der nachfahrende Zug die Weiche erreicht.

Der stark geschwindigkeitsabhängige „virtuelle Vorsignalabstand“ von ETCS bedeutet auch, dass eine etwaige Mehrgleisigkeit der Bahnhofsausfahrt (über ein als Durchrutschweg erforderliches Ausmaß hinaus) von eher geringem Nutzen ist, weil der überholte Zug mit umso höherer Geschwindigkeit auf das durchgehende Hauptgleis einfährt, je weiter die Vereinigungsweiche von seinem Haltepunkt entfernt ist. Dementsprechend ist bei einer längeren zweigleisigen Ausfahrt für die Zugfolgezeit am

Übergang von Mehrgleisigkeit auf Zweigleisigkeit auch wieder ein längerer Bremsweg gemäß ETCS-Bremskurve zu berücksichtigen.

Dadurch wird die Möglichkeit, dass der überholte Zug früher anfährt (möglicherweise sogar schon bevor er vom überholenden Zug eingeholt wurde), gleich wieder eingeschränkt. In einem solchen Fall müssten Abfahrt und Beschleunigungsvorgang des überholten Zuges so gesteuert werden müssen, dass der von diesem vor sich her geschobene Bremsweg die Grenzmarke der Weiche am Ende des Mehrgleisabschnitts möglichst knapp nach, aber nicht vor dem Zeitpunkt erreicht, zu dem diese Weiche nach Freifahren durch den überholenden Zug und Ablauf der Nachbelegungszeit freigegeben werden kann. Ein solcher Vorgang würde vermutlich eine hohe dispositive Präzision erfordern und könnte in der Praxis wenig zuverlässig sein.

Aufgrund dieser Schwierigkeiten und des geringeren erwartbaren Nutzens werden im Weiteren nur mögliche Mehrgleisigkeiten vor der Einfahrt betrachtet, aber keine nach der Ausfahrt aus dem Überholbahnhof. Auf den ersten Blick widerspricht diese Vorgehensweise vielleicht einem Symmetrieprinzip (Dreigleisigkeit mit zwei Gleisen für eine Fahrtrichtung aber nur einem Gleis für die andere), in Wirklichkeit wird der Fahrplan dadurch aber symmetrischer, weil eine sicherungstechnisch bedingt unterschiedliche Zugfolgezeit zwischen den zwei Fahrtrichtungen behoben bzw. verringert wird. Im Zusammenhang mit Güterverkehr bzw. der Wechselwirkung von Güter- und Personenverkehr sind hinsichtlich Symmetrie generell weniger strenge Maßstäbe anzulegen als innerhalb des Personenverkehrs: Erstens, weil keine Anschlüsse (Umsteigerelationen) betroffen sind und zweitens, weil der Güterverkehr schon alleine aufgrund der großen Unterschiede zwischen Anfahrbeschleunigung und Bremsverzögerung nicht so symmetrisch verkehren kann wie der Personenverkehr.

2.2.1.2. Zugfolgezeiten im Zusammenhang mit Gegengleisfahrten

In Abbildung 2 bis Abbildung 5 sind beide Fahrtrichtungen symmetrisch dargestellt und für Personenfern- und -nahverkehr symmetrische Halte um die Knotenminute 0 vorgesehen. Die Züge der zwei Fahrtrichtungen sind voneinander unabhängig.

Um die Auswirkungen etwaiger Gegengleisfahrten auf die Kapazität des Verkehrs der Gegenrichtung beurteilen zu können, sind weitere Referenzfallbetrachtungen erforderlich. Um die Wechselwirkungen mit Knotenzeiten und Fahrzeitspreizungen auszublenken, wurde eine Zeitlage abseits von ITF-Knotensituationen gewählt und angenommen, dass ohne Störungen durch Gegengleisfahrten eine dichte Zugfolge an Güterzügen homogener Geschwindigkeit möglich wäre. Die den Abbildungen entsprechende Annahme, dass es nur zu den Minuten 00 und 30 vollständige Taktknoten gibt, ist aus Personenverkehrssicht sehr pessimistisch, bedeutet sie doch eine nur stündliche Frequenz der vertakteten Fernverkehre. Im Ergebnis ist die Beurteilung der Auswirkungen des Gegengleisfahrens auf die Kapazität des entgegenkommenden (Güter-)Verkehrs tendenziell konservativ, weil außer Acht

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Die Darstellung des Referenzfalls in Abbildung 7 und Abbildung 8 mit ungestörtem, homogenem Güterverkehr in der Gegenrichtung der zum Betrachtungszeitraum verkehrenden Züge des Personenverkehrs erscheint reichlich trivial. Relevantere Nuancen sind hingegen zu beachten, wenn keine Überholung betrachtet wird, sondern im gegenständlichen Bahnhof eine Nahverkehrslinie endet, der Personennahverkehrszug also vom Personenfernverkehrszug eingeholt wird und dann wendet, um wieder zurück zu fahren. Bei einer traditionellen Gleiskonfiguration mit schnellen Durchfahrtsgleisen in Bahnhofsmitte erfordert dies nämlich entweder bei der Einfahrt oder bei der Ausfahrt ein Auskreuzen über das Gegengleis und damit auch im Referenzfall (also ohne Gegengleisfahren) einen Fahrtausschluss. Nachdem für einen ausfahrenden Zug mit noch geringer Geschwindigkeit gemäß ETCS-Bremsskurven sicherungstechnisch ein weitaus kürzerer Bremsweg zu berücksichtigen ist als für einen Zug, der sich mit hoher Geschwindigkeit der Einfahrt nähert, fällt der Fahrtausschluss deutlich kürzer aus, wenn kreuzungsfrei eingefahren und kreuzend ausgefahren wird als umgekehrt. Dieser kürzestmögliche Fahrtausschluss bei traditioneller Wende auf einem außenliegenden Bahnhofsgleis ist in Abbildung 9 dargestellt:

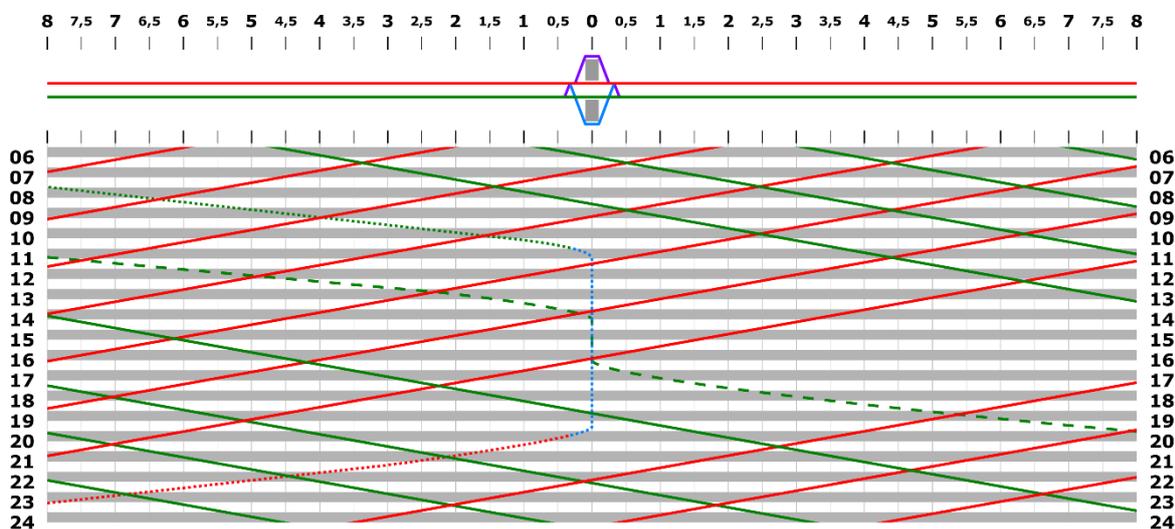


Abbildung 9: Bildfahrplandarstellung der Wende eines Personennahverkehrszuges (punktiert) mit kreuzender Ausfahrt

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten der auf den haltenden Fernverkehrszug folgenden Güterzüge (grüne, volle Linien) ist sichtbar größer als die übrigen Zugfolgen zwischen den

homogenen Güterzugtrassen. Durch den Fahrtausschluss vergrößert sich diese eine Zugfolge um mehr als eine Minute von etwa 2:15 auf nahezu 3:30 Minuten. Wenn die Wende einer Personennahverkehrslinie ohnehin nur mit einem solchen kapazitätsschädlichen Auskreuzungsvorgang möglich ist, dann ist bei der Bilanz zwischen nützlichen Effekten von Gegengleisfahrten auf das Fahrzeitspreizungsgefüge der einen Fahrtrichtung und schädlichen Effekten des Gegengleisfahrens auf die Kapazität der anderen Fahrtrichtung zu berücksichtigen, dass von einer Einfahrt am Gegengleis aus direkt ein außenliegendes Wendegleis der Gegenrichtung erreicht werden kann und somit der kapazitätsschädliche Effekt der kreuzenden Ausfahrt entfällt.

Anders ist die Situation bei Bahnhöfen, bei denen schnelle, durchfahrende Züge nicht zwingend die mittleren Gleise benutzen müssen, sondern eine mittige Wende und weiter außen gelegene Durchfahrten möglich sind (siehe auch 4.4 zu geeigneten Gleiskonfigurationen):

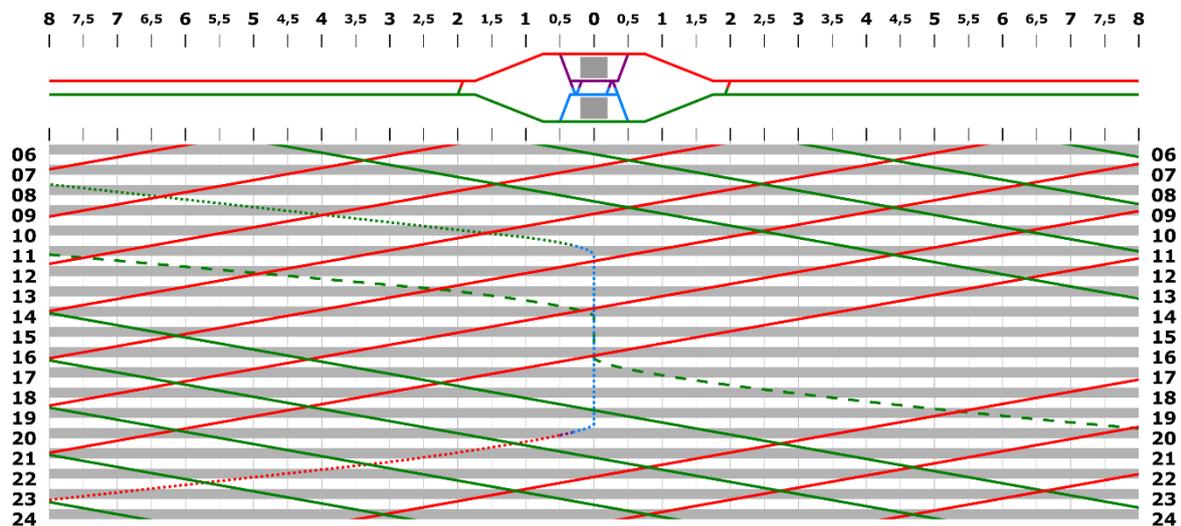


Abbildung 10: Bildfahrplandarstellung der Wende eines Personennahverkehrszuges (punktiert) mit kreuzungsfreier Ein- und Ausfahrt

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

In dieser Situation kommt es durch die Wende des Personennahverkehrszuges zu keinen Fahrtausschlüssen in der jeweiligen Gegenrichtung.

3. UNTERSUCHTE LÖSUNGSANSÄTZE UND IHRE WIRKUNGSBEITRÄGE

3.1. Lösungsansätze zur Entflechtung von Fahrwegen vor Überholbahnhöfen

3.1.1. Allgemeine Berechnungen zur Verkürzung von Zugfolgezeiten durch Entflechtung von Fahrwegen vor Überholvorgängen

3.1.1.1. Wirkung der Entflechtung von Fahrwegen unmittelbar vor bzw. im Überholbahnhof

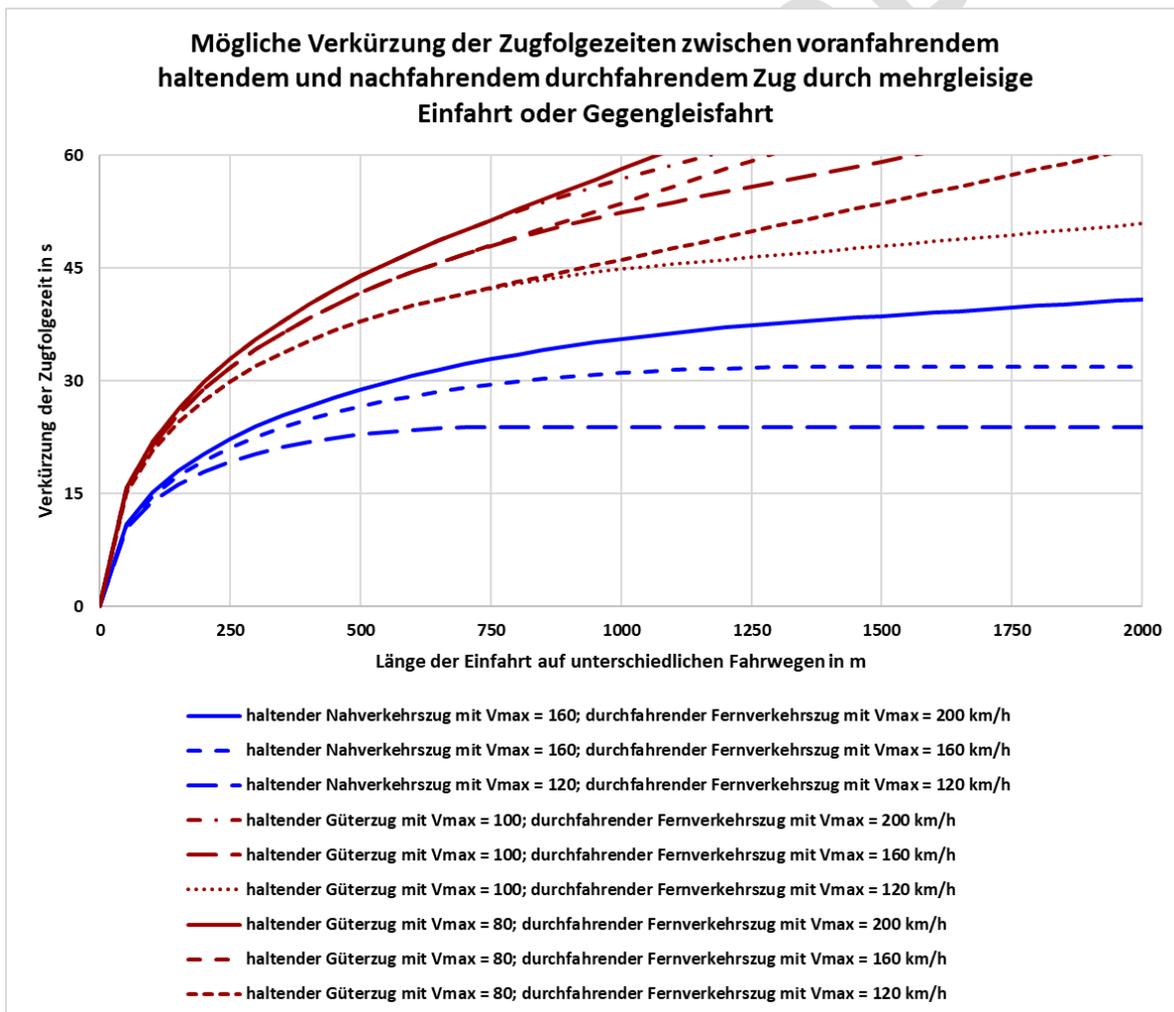


Abbildung 11: mögliche Verkürzung von Zugfolgezeiten eines haltenden und eines durchfahrenden Zuges durch Entflechtung der Fahrwege bei der Einfahrt

Für dieses Diagramm wurde stets mit gleichen Zuglängen von überholendem und überholtem Zug gerechnet (bei Überholungen zwischen Güterzug und Personenfernverkehrszug jeweils 400 m, bei Überholungen zwischen Personenfern- und -nahverkehrszug jeweils 200 m).

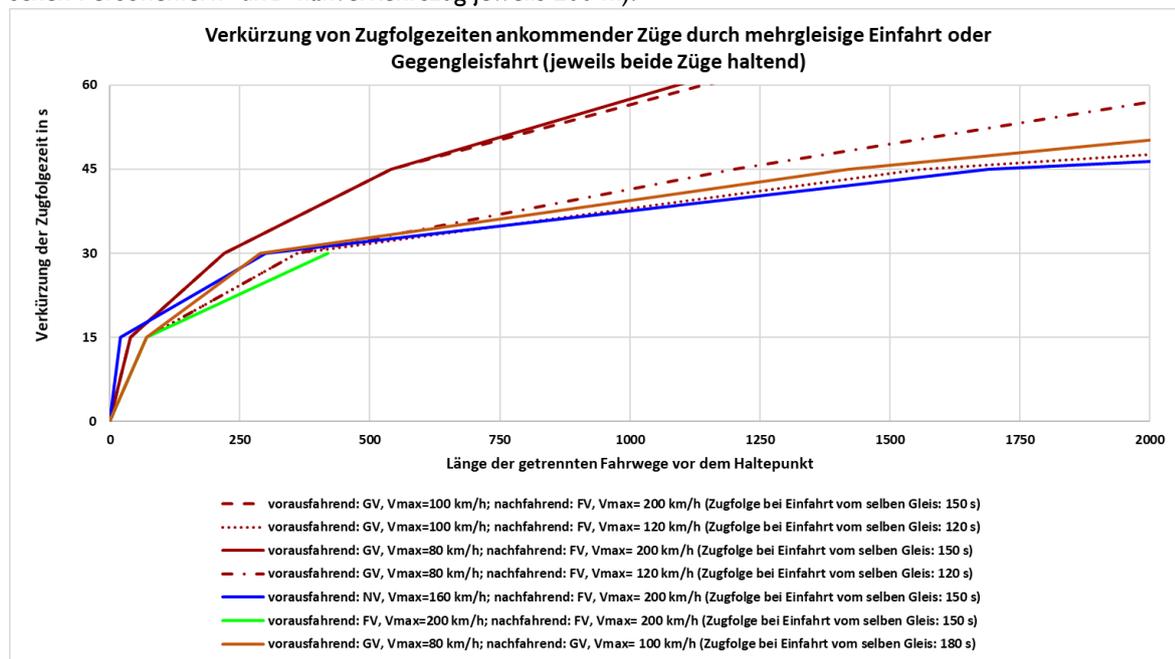


Abbildung 12: Näherungsweise Verkürzung der möglichen Zugfolgezeit zweier im selben Bahnhof haltender Züge durch Entflechtung der Fahrwege bei der Einfahrt

Diese Berechnung erfolgte iterativ in 15-Sekunden-Schritten und ist daher mit entsprechenden Unschärfen verbunden.

Bei einer Überholung ohne Halt des überholenden Zuges ist es offensichtlich, dass die Zugfolgezeit in der Bahnhofsmitte des Überholbahnhofs immer wesentlich kürzer ist als einige Minuten früher die Zugfolgezeit zwischen den zwei mit konstanter Geschwindigkeit fahrenden Zügen auf freier Strecke: Der vor dem überholenden Zug frei zu haltende Bremsweg gemäß ETCS-Bremskurve und die Zeit, die der Zug braucht, um diese zu durchfahren, bleiben in der Annäherung an den Bahnhof unverändert, der zu überholende Zug wird aber immer langsamer. Der Abstand zwischen den zwei Zügen wird also während des Bremsvorgangs des zu überholenden Zuges kontinuierlich immer geringer, selbst wenn die Ausgangsgeschwindigkeit der Züge gleich ist.

Halten zwei Züge nacheinander im selben Bahnhof, so ergibt sich eine kompliziertere Berechnung: Einerseits verkürzt sich der Bremsweg gemäß ETCS-Bremskurve überproportional, sodass sich auch die Zeitspanne verkürzt, die der später ankommende Zug braucht, um diesen Teil des Zugfolgeabstands zu durchfahren. Andererseits bleiben Zuglänge und Blockabschnittslänge gleich, werden aber langsamer durchfahren. In Summe ergibt sich daraus insbesondere im Nahbereich des Bahnhofs bzw. Haltepunkts zwischen den zwei nacheinander haltenden Zügen eine längere Zugfolgezeit als bei konstanter Fahrt auf der freien Strecke.

Bezogen auf die Länge der entflochtenen Fahrwege bewirkt eine Mehrgleisigkeit oder eine Gegengleisfahrt eine umso größere Verkürzung der Zugfolgezeit, je näher sie am Bahnhof bzw. innerhalb des Bahnhofs am Haltepunkt gelegen ist. Dies ist in Abbildung 11 und Abbildung 12 an der Steigung der Linien zu erkennen. Bereits eine Trennung der Fahrwege der Einfahrten über 500 m vor dem Haltepunkt des Zuges (genaugenommen: vor der Halteposition des Zuges des längeren Zuges) trägt mit über einer halben Minute wesentlich zur Verkürzung der möglichen Zugfolgezeiten bei. Viele Bahnhöfe dürften aber bereits im Bestand längere Gleislängen bzw. Einfahrbereiche aufweisen als für den jeweiligen Überholvorgang unmittelbar notwendig ist. Das kann bedeuten, dass ein erheblicher Teil dieses Potenzials bereits ausgeschöpft ist. Es ist aber auch denkbar, dass solche Voraussetzungen für kürzere Zugfolgezeiten in der Bahnhofseinfahrt zwar gegeben bzw. geplant, bei der Fahrplankonstruktion insbesondere für längerfristige Planungen aber nicht immer berücksichtigt werden.

3.1.1.2. Wirkung der Entflechtung von Fahrwegen in größerer Entfernung vom Überholbahnhof

In größerer Entfernung zum Überholbahnhof, vor Beginn der Bremswege der Züge, verringert sich die pro Länge an entflochtenen Fahrwegen erzielbare Verkürzung der Zugfolgezeit auf einen konstanten Wert, der vom Geschwindigkeitsunterschied der Züge abhängt und bei gleich schnellen Zügen null beträgt (siehe Abbildung 11: einige Linien werden im rechten Bereich des Diagramms zu Geraden, bei gleichen Geschwindigkeiten von Nah- und Fernverkehr auch zu Horizontalen). Bei realistischen Geschwindigkeitsunterschieden zwischen Güterzügen und Personenfernverkehrszügen beträgt der Fahrzeitunterschied pro Kilometer bis zu einem Drittel einer Minute, im Extremfall nahezu eine halbe Minute.

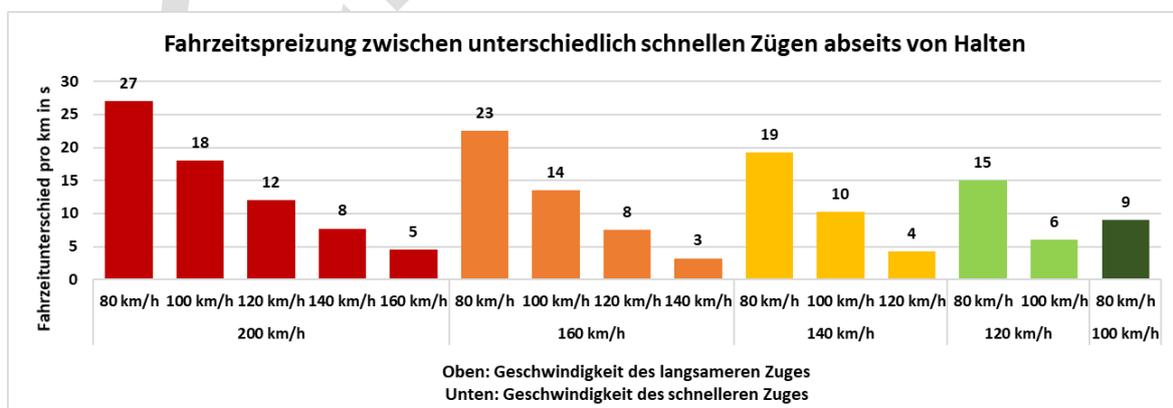


Abbildung 13: Fahrzeitspreizung zwischen unterschiedlich schnellen Zügen abseits von Halten

Sobald Personennahverkehrszüge involviert sind, ist deren Haltedichte von großer Bedeutung: Bei schnellen Nahverkehrszügen, die lange Strecken ohne Halt durchfahren und mit modernen Fahrzeugen geführt werden (mindestens 160 km/h Höchstgeschwindigkeit), ergeben sich nur geringe Fahrzeitunterschiede zu Personenfernverkehrszügen und eine Entflechtung von Fahrwegen abseits der Überholbahnhöfe hätte keinen großen Effekt auf die Zugfolgezeiten. Umgekehrt ergibt sich aber zwischen solchen selten haltenden Sprinter- oder Metropolexpresszügen und Güterzügen eine ähnliche Fahrzeitspreizung wie zwischen Fernverkehrs- und Güterzügen.

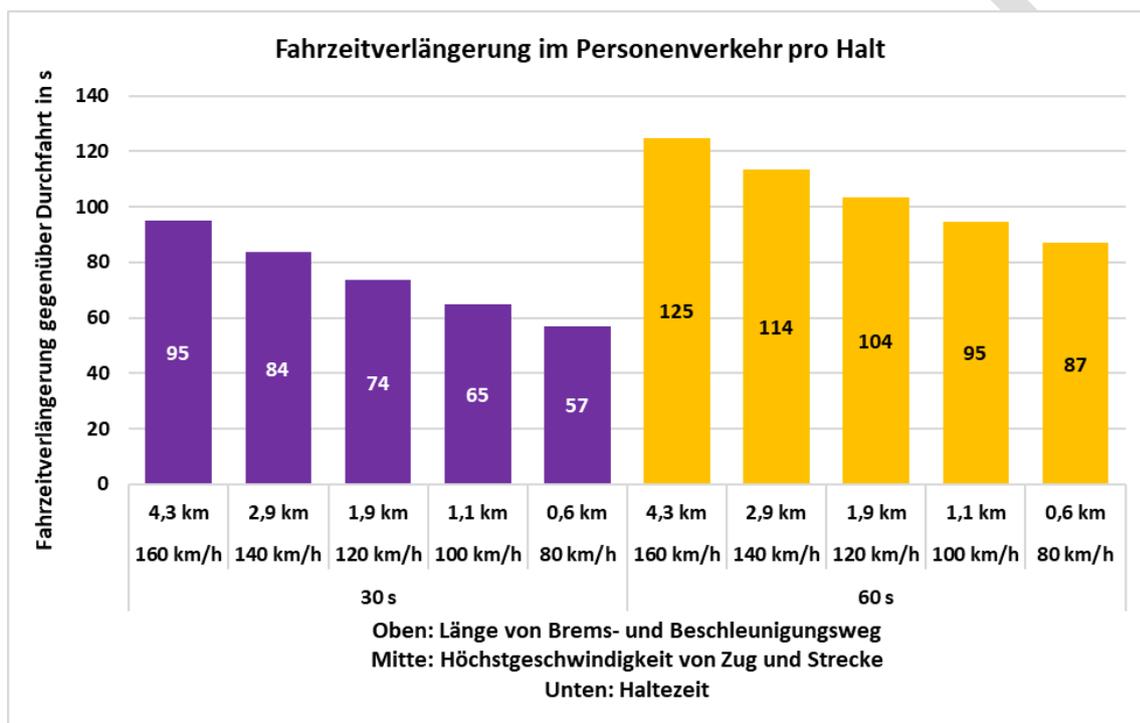


Abbildung 14: Fahrzeitverlängerung im Personenverkehr pro Halt in Abhängigkeit von der Höchstgeschwindigkeit mit Angabe der Längen von Brems- und Beschleunigungsweg

Bei Personennahverkehrszügen mit häufigen Halten verlängert sich die Fahrzeit pro 30-sekündigem Halt je nach Höchstgeschwindigkeit um etwa ein bis eineinhalb Minuten, bei einem 60-sekündigen Halt an Stationen mit stärkerem Fahrgastwechsel entsprechend um eine halbe Minute mehr. Umfasst eine Entflechtung von Fahrwegen (Mehrgleisigkeit und/oder Gegengleisfahrt) vor einem Überholbahnhof eine oder mehrere Verkehrsstationen, so kann die Zugfolgezeit zusätzlich um die in Abbildung 14 dargestellten Werte verkürzt werden, sofern die entflochtenen Fahrwege die gesamte Länge von Brems- und Beschleunigungsweg umfassen. Sollten die Haltestellenabstände kürzer sein als die Länge von Brems- und Beschleunigungsweg, so verringert sich die Wirkung jedes einzelnen Halts auf die Fahrzeit, die Fahrzeitspreizung und die durch Entflechtung von Fahrwegen erzielbare Verkürzung

der Zugfolgezeit, dabei ist gegebenenfalls auch eine in der Fahrplankonstruktion vorgesehene Mindestbeharrungszeit zwischen Ende des Beschleunigungs- und Beginn des Bremsvorgangs zu berücksichtigen.

Zwischen Güterzügen und Personennahverkehrszügen mit für Regional- oder Regionalexpresszügen typischen Haltemustern kommt es nur zu geringen Fahrzeitspreizungen: Ein Personennahverkehrszug mit 160 km/h Höchstgeschwindigkeit und 7 km Haltestellenabstand kommt auf 100 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit, bei 120 km/h Höchstgeschwindigkeit und 5 km Haltestellenabstand sind es 80 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit, jeweils mit 30 Sekunden Haltezeit gerechnet.

3.1.2. Selektiv mehrgleisiger Ausbau

Im Folgenden werden mögliche Verkürzungen der Zugfolgezeiten zwischen den Ankünften bzw. zwischen Ankunft und Durchfahrt durch eine beispielhafte Entflechtung der Fahrwege über eine Länge von 6 km vor dem betreffenden Bahnhof mittels dreigleisigem Ausbau dargestellt.

3.1.2.1. Überholungen zwischen Personennah- und -fernverkehr unter Nutzung eines Dreigleisabschnitts ohne Haltestelle

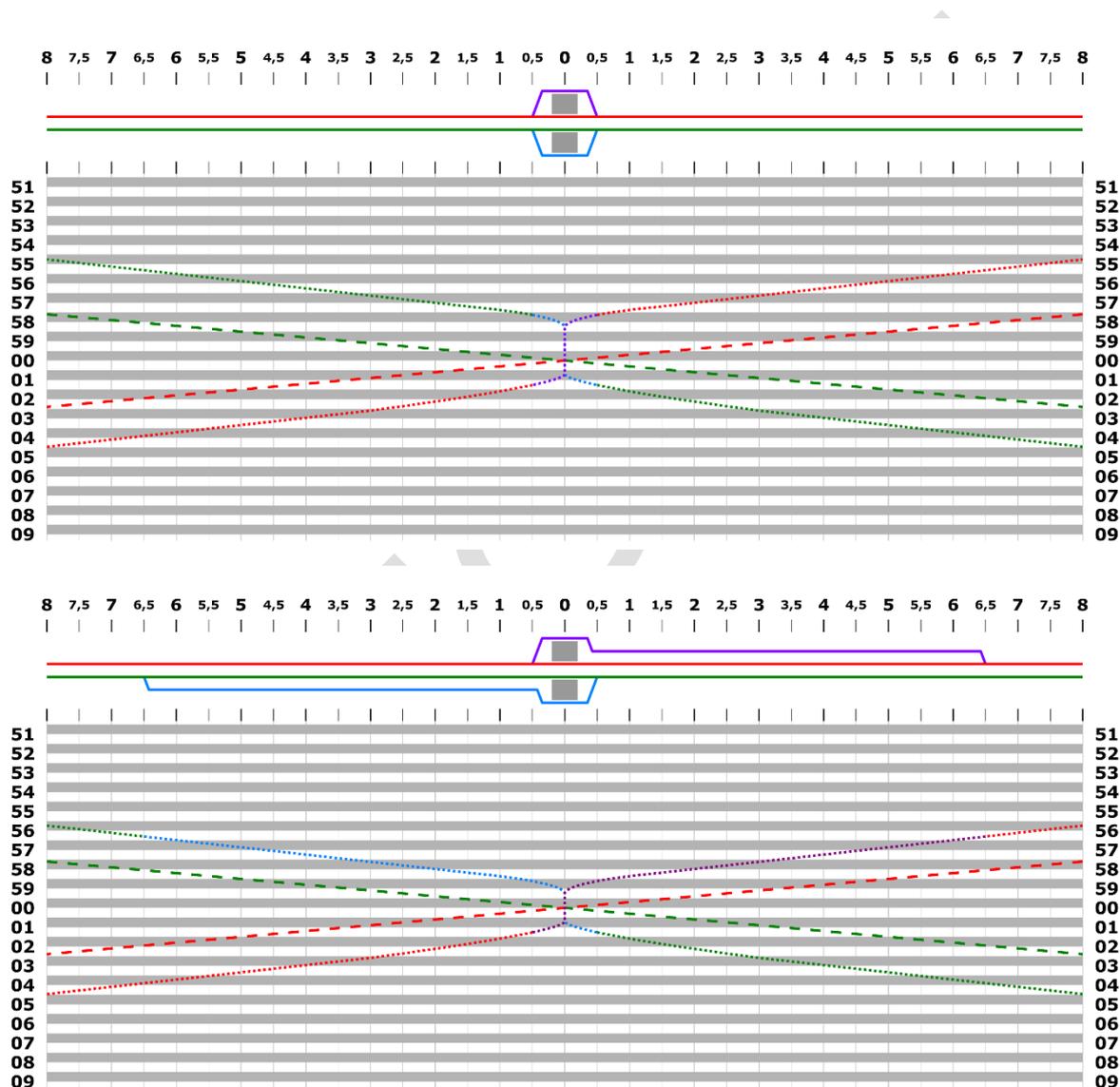


Abbildung 15: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrsügen (punktiert) durch Personenfernverkehrszügen (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch einen 6 km langen Dreigleisabschnitt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Bei einer Überholung zwischen Personennah- und -fernverkehrszug ohne Halt des Personenfernverkehrszugs ermöglicht die 6 km lange Dreigleisigkeit eine Verkürzung der Zugfolgezeit um etwa eine Minute. Dadurch sind Ankunfts- und Abfahrtszugfolge nahezu gleich (etwa 45 Sekunden), der Fahrplan ist also symmetrisch.

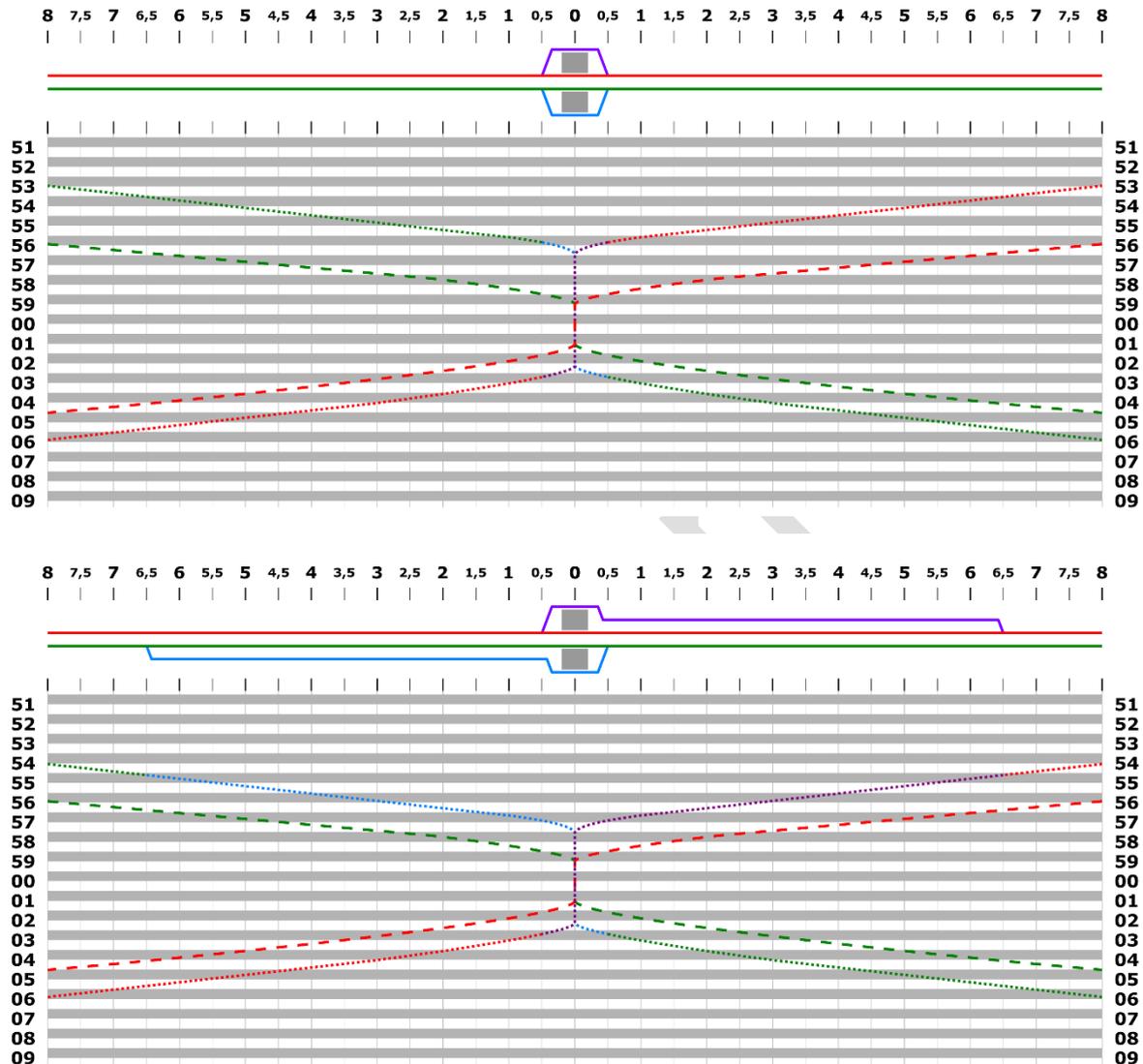


Abbildung 16: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch einen 6 km langen Dreigleisabschnitt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Bei einer Überholung zwischen Personennah- und -fernverkehrszug mit Halt des Personenfernverkehrszugs ermöglicht die 6 km lange Dreigleisigkeit eine Verkürzung der Zugfolgezeit um ebenfalls etwa eine Minute auf ca. 90 Sekunden. Die Abfahrtszugfolge beträgt bei einer solchen Überholung

etwa 65-70 Sekunden, es bleibt also eine geringfügige Asymmetrie zwischen Ankunfts- und Abfahrtszugfolge bestehen.

3.1.2.2. Überholungen zwischen Personennah- und -fernverkehr unter Nutzung eines Dreigleisabschnitts mit Haltestelle

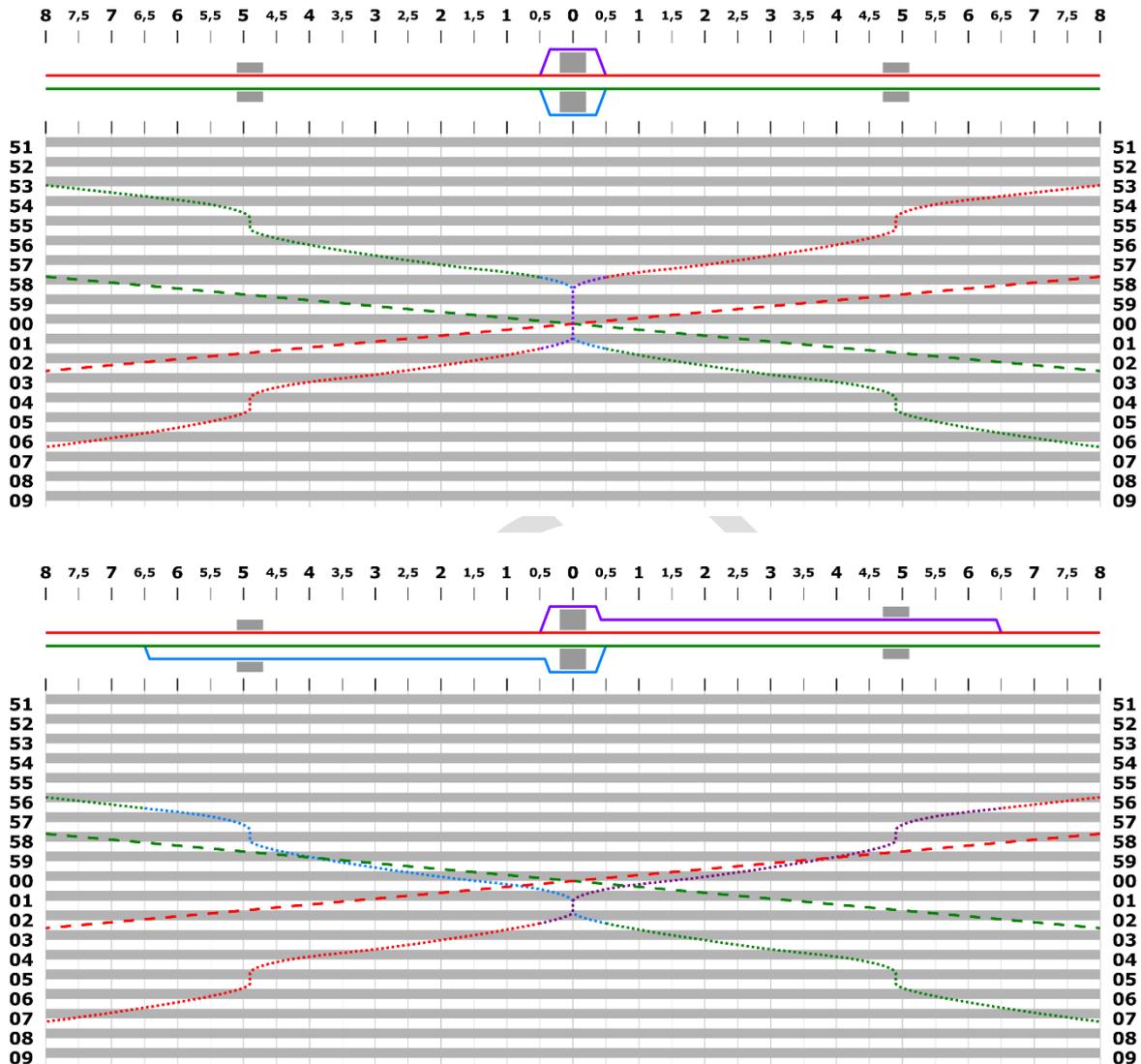


Abbildung 17: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktiert) durch Personenfernverkehrszügen (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof je einer Nahverkehrshaltestelle beiderseits des Überholbahnhofs

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch einen 6 km langen Dreigleisabschnitt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

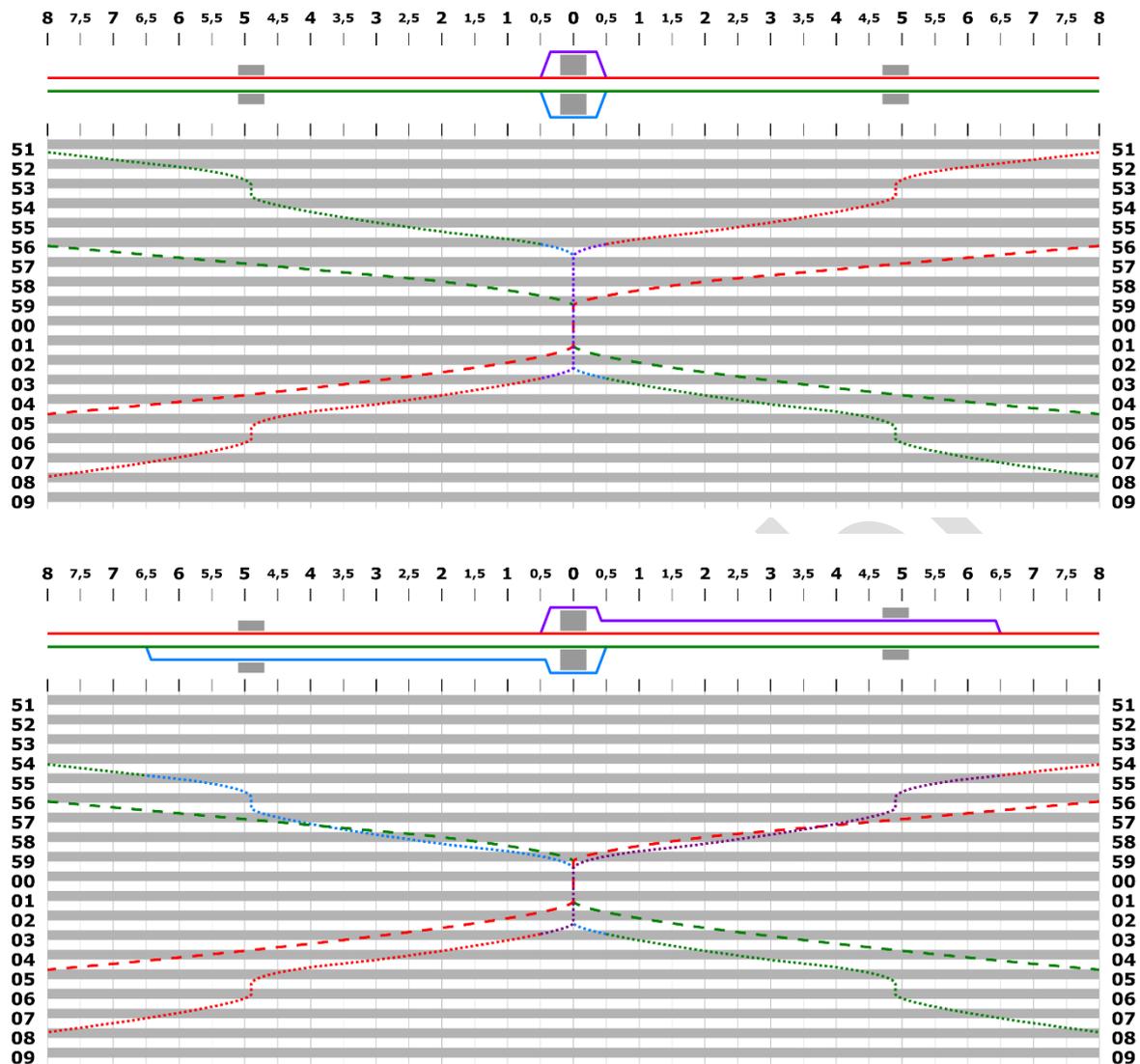


Abbildung 18: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrsügen (punktiert) durch Personenfernverkehrsügen (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof mit je einer Nahverkehrshaltestelle beiderseits des Überholbahnhofs

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch einen 6 km langen Dreigleisabschnitt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Der kapazitätssteigernde Effekt einer Dreigleisigkeit vor einem Überholbahnhof kann noch wesentlich erhöht werden, wenn sich im Dreigleisabschnitt eine Haltestelle des Personennahverkehrs befindet. In unserem Beispielfall mit einem 30-Sekunden-Halt, 160 km/h Höchstgeschwindigkeit und 6 km Dreigleisabschnitt verkürzt sich dadurch die Zugfolgezeit zwischen überholtem Personennahverkehrs zug und überholendem Personenfernverkehrs zug um weitere 95 Sekunden zusätzlich zur bereits durch die Dreigleisigkeit erzielten Verkürzung der Zugfolgezeit. In beiden Fällen (mit und ohne Halt des überholenden Zuges) erfolgt die Überholung bereits vor dem Bahnhof. Im Falle der

Überholung mit Durchfahrt des Personenfernverkehrszugs würde dabei das Ziel übererfüllt, denn die Abfahrtszeit des überholten Zuges liegt bei 30 Sekunden Haltezeit bereits nach der technisch möglichen Zugfolgezeit zwischen durchgefahrenem Personenfernverkehrszug und anfahrendem Personennahverkehrszug. In diesem Fall würde eine etwas kürzere Dreigleisigkeit, die nicht den vollen Bremsweg vor der Haltestelle umfasst, auch genügen. Dabei ist auch zu bedenken, dass bei der in Abbildung 18 dargestellten Lösung die Übergangszeit für einen Umstieg von Nah- auf Fernverkehr sehr kurz wird (knapp unter zwei Minuten), also bestenfalls bahnsteiggleich möglich wäre (gilt auch für die unter 3.1.4.2 und 3.1.4.5 beschriebenen Lösungen mit teilweise gegengleisfahrendem Verkehr).

Die starke Wirkung der Haltestelle im Dreigleisabschnitt verursacht eine Asymmetrie von etwa eineinhalb Minuten zwischen Ankunft und Abfahrt. Sofern diese nicht durch andere Asymmetrien ausgeglichen werden kann (z.B. gleichartige Situation im benachbarten Knotenbahnhof oder asymmetrische Umsteigezeiten zwischen Anschlüssen mit und ohne Bahnsteigwechsel), wäre hier eine Viergleisigkeit gegenüber der Dreigleisigkeit von Vorteil.

3.1.2.3. Überholungen zwischen Güterverkehr und Personenfernverkehr unter Nutzung eines Dreigleisabschnitts

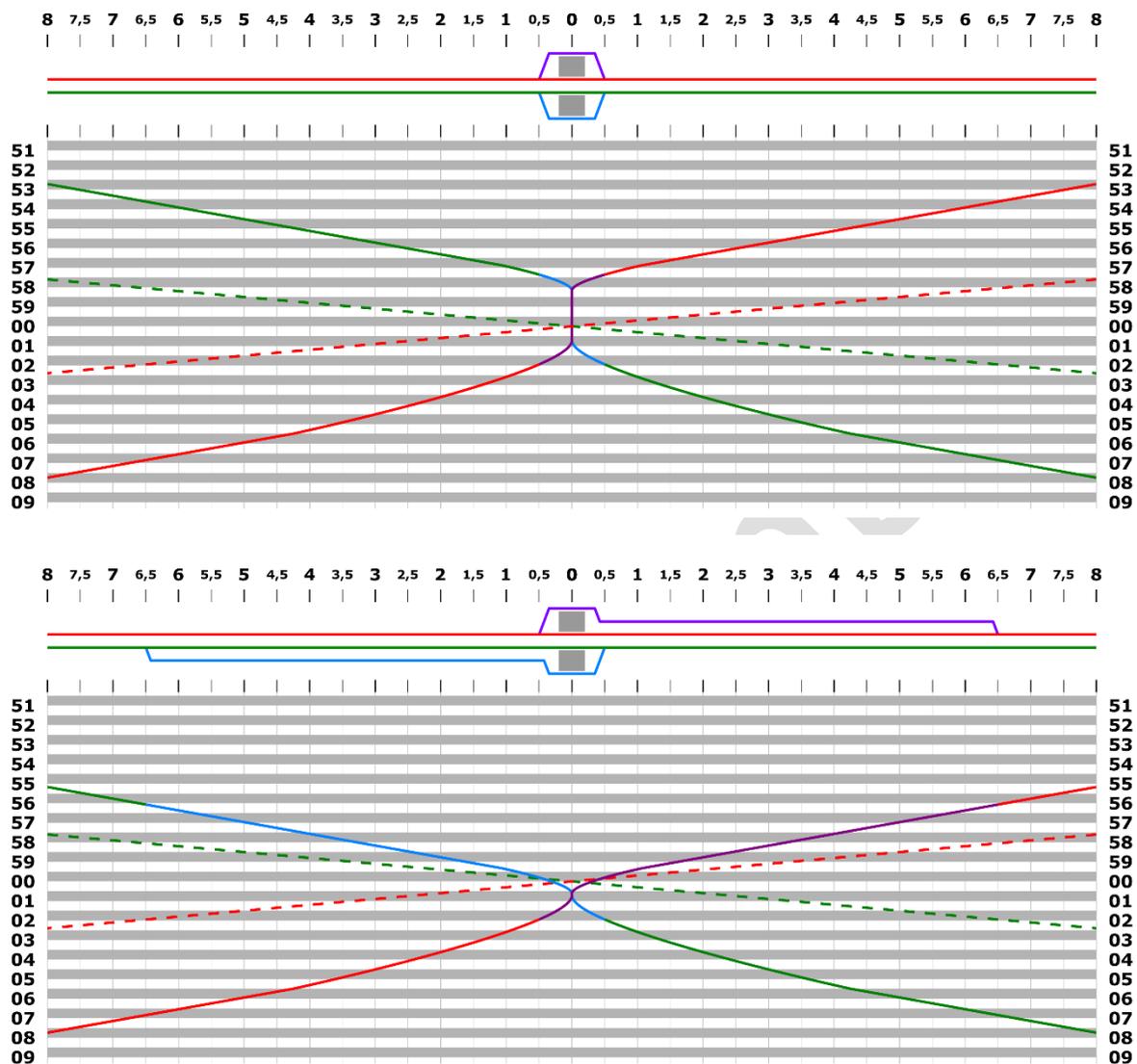


Abbildung 19: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch einen 6 km langen Dreigleisabschnitt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Bei einer Überholung zwischen Güterzug und Personenfernverkehrszug ohne Halt des Personenfernverkehrszugs ermöglicht die 6 km lange Dreigleisigkeit eine Verkürzung der Zugfolgezeit um nahezu zweieinhalb Minuten, dadurch kommt der Güterzug erst mehr als eine halbe Minute nach Durchfahrt des Personenfernverkehrszugs im Bahnhof an. Bei optimaler Disposition mit früherer

Bremsung des Güterzugs müsste auch eine fliegende Überholung möglich sein. Dadurch würde Energie gespart und es müsste auch möglich sein, die Zugfolgezeit im Folgeabschnitt nach der Überholung zu verkürzen, indem der Güterzug mit höherer Geschwindigkeit auf das durchgehende Hauptgleis zurückkehrt, also danach gegenüber dem Fernverkehrszug weniger Zeit verliert.

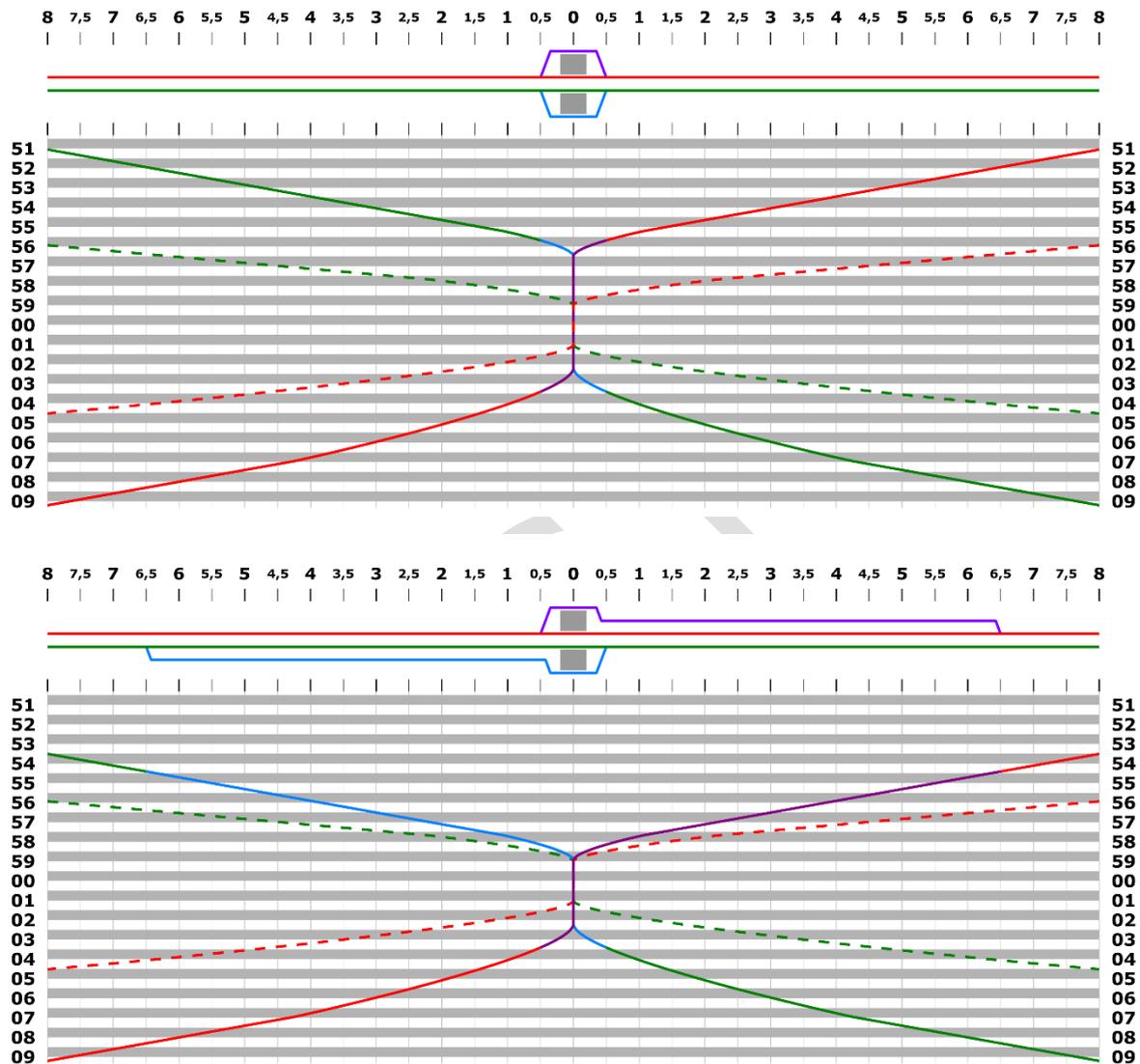


Abbildung 20: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch einen 6 km langen Dreigleisabschnitt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Bei einer Überholung zwischen Güterzug und Personenfernverkehrszug mit Halt des Personenfernverkehrszugs ermöglicht die 6 km lange Dreigleisigkeit eine Verkürzung der Zugfolgezeit um ebenfalls etwa zweieinhalb Minuten. Güterzug und Personenfernverkehrszug kommen praktisch gleichzeitig zum Stehen.

3.1.3. Gegengleisfahrten

3.1.3.1. Überholung zwischen Personennah- und -fernverkehr mit Gegengleisfahrt unmittelbar vor dem Überholbahnhof

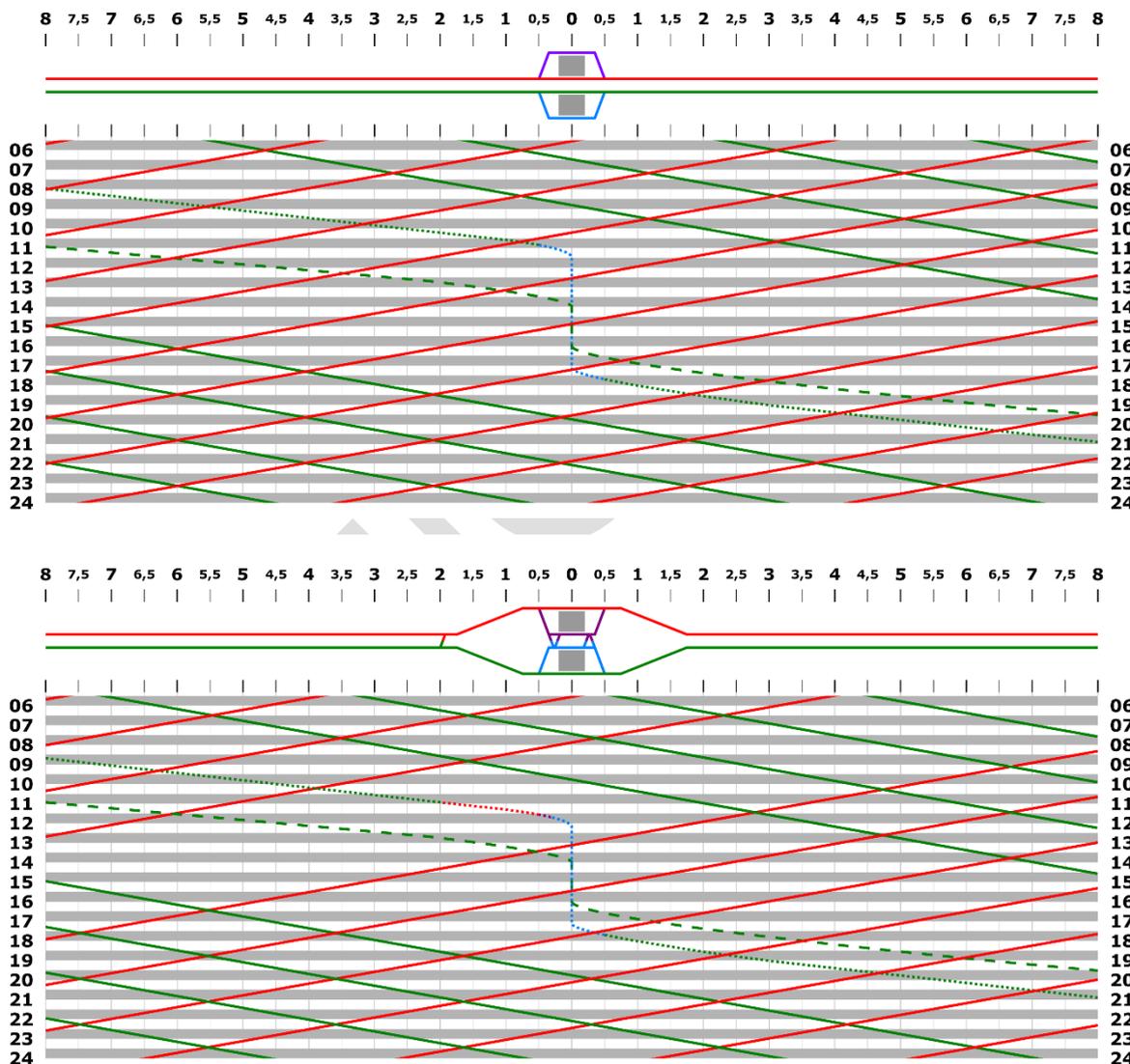


Abbildung 21: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine 1,5 km lange Gegengleisfahrt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise

im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

In Abbildung 21 ist klar ersichtlich, dass die mittels Gegengleisfahrt erzielbare Verkürzung von Zugfolgezeiten in der einen Richtung (grün) wesentlich geringer ist, als die dafür in Kauf zu nehmende Verlängerung einer Zugfolgezeit in der Gegenrichtung (rot). Das bedeutet, dass in einer solchen Situation die Anwendung des Gegengleisfahrens nur zweckmäßig ist, wenn eine der folgenden Voraussetzungen vorliegt:

- a) Im betroffenen Zeitraum sind aus anderen Gründen ohnehin keine Trassen konstruierbar, die mit der Gegengleisfahrt in Konflikt stünden, beispielsweise infolge anderer Trassenkonflikte im weiteren oder früheren Streckenverlauf.
- b) Auf der gegenständlichen Strecke bestehen zwar Trassenkonflikte innerhalb des Marktsegments Personenverkehr (etwa aufgrund der Fahrzeitspreizung oder Knotenzeiten des integralen Taktfahrplans und dem Begehren nach taktüberlagerten Fernverkehrszügen), im Hinblick auf den Güterverkehr und die realisierbare Gesamtanzahl an Trassen besteht aber kein Kapazitätsengpass.

3.1.3.2. Überholung zwischen Güterverkehr und Personenfernverkehr mit Gegengleisfahrt unmittelbar vor dem Überholbahnhof

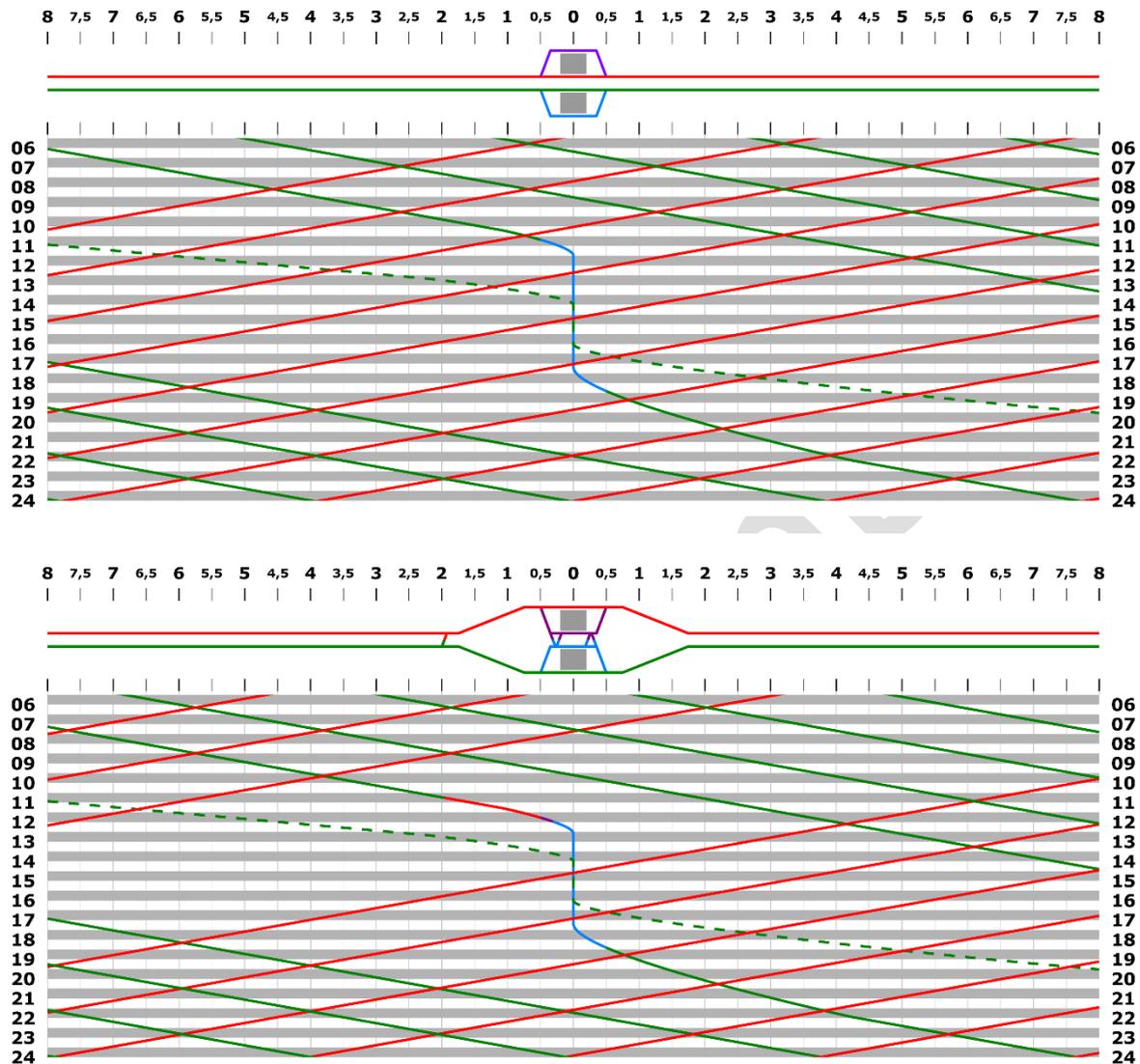


Abbildung 22: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Güterzugs (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine 1,5 km lange Gegengleisfahrt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Bei einer Überholung zwischen Güterzug und Personenfernverkehrszug unter Nutzung des Gegengleises (Abbildung 22) fällt die Bilanz zwischen Zugfolgezeitverkürzung in einer Richtung und Zugfolgezeitverlängerung in der Gegenrichtung noch deutlich ungünstiger aus.

3.1.4. Kombinationen von selektiv mehrgleisigem Ausbau und Gegengleisfahrten

3.1.4.1. Kurzer Dreigleisabschnitt und lange Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug ohne Haltestelle im Gegengleisabschnitt

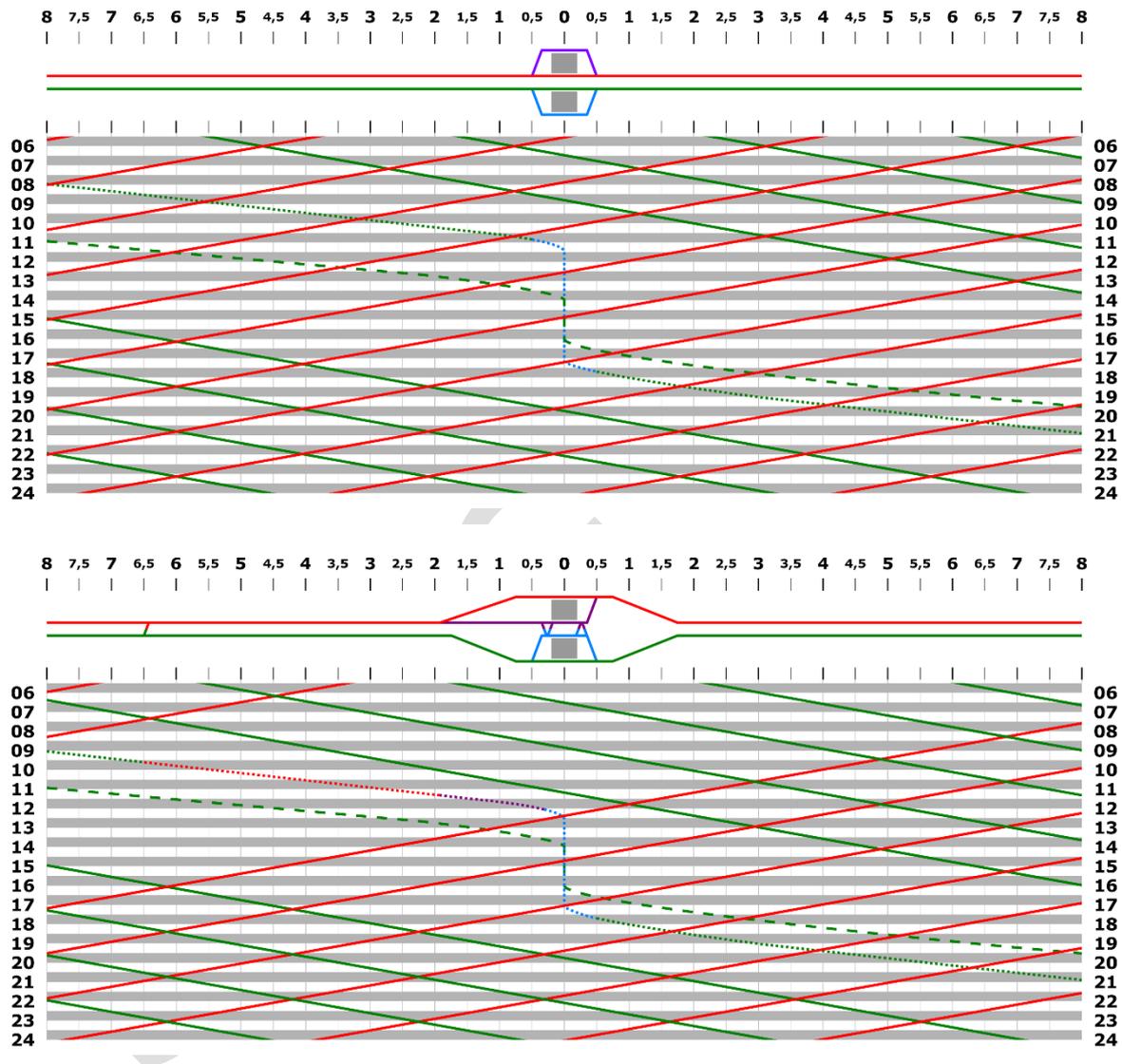


Abbildung 23: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktuiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine Kombination von 4,5 km Gegengleisfahrt und 1,5 km Dreigleisigkeit vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Eine Kombination eines kürzeren Dreigleisabschnitts direkt vor dem Überholbahnhof und einer 4,5 km langen Gegengleisfahrt vor diesem Dreigleisabschnitt bewirkt zwar eine deutliche Verkürzung der Zugfolgezeiten in der einen Richtung (in Abbildung 23 von links nach rechts), aber ebenso unübersehbar eine Verlängerung der Zugfolgezeiten in der Gegenrichtung (in Abbildung 23 von rechts nach links). Wie schon bei den vorangegangenen Beispielen drängt sich die Vermutung auf, dass eine solche Lösung der Kapazität der Strecke insgesamt mehr ab- als zuträglich wäre.

3.1.4.2. Kurzer Dreigleisabschnitt und lange Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug mit Haltestelle im Gegengleisabschnitt

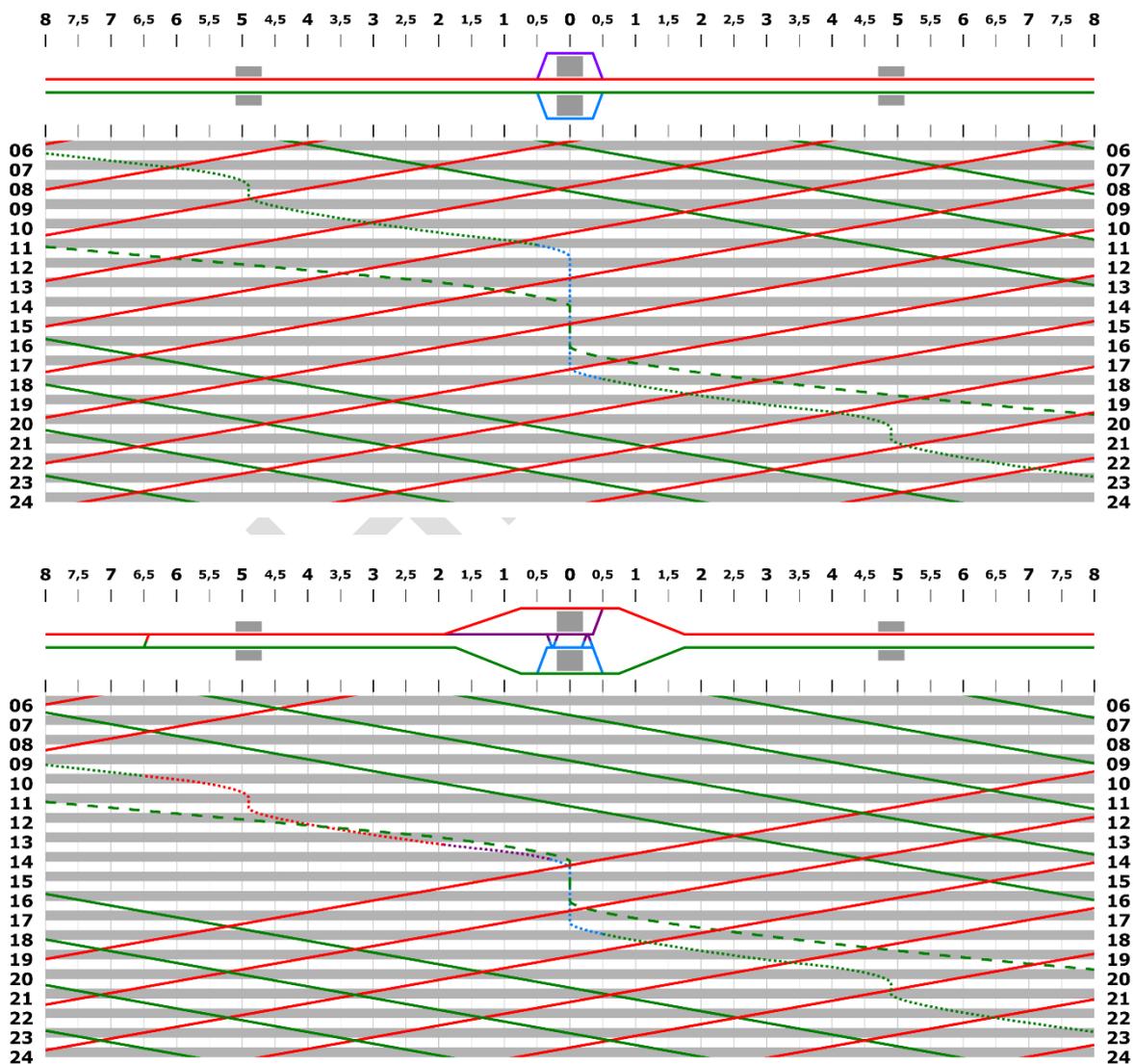


Abbildung 24: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktirt) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer

Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, mit je einer Nahverkehrshaltestellen beiderseits des Überholbahnhofs im Betrachtungsraum

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine Kombination von 4,5 km Gegengleisfahrt und 1,5 km Dreigleisigkeit vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Auch diese Darstellung zeigt einen weit größeren Verlust an Trassen in der einen Richtung als in der anderen zusätzlich ermöglicht werden.

3.1.4.3. Kurzer Dreigleisabschnitt und lange Gegengleisfahrt bei Überholung eines Güterzugs durch einen Personenfernverkehrszug

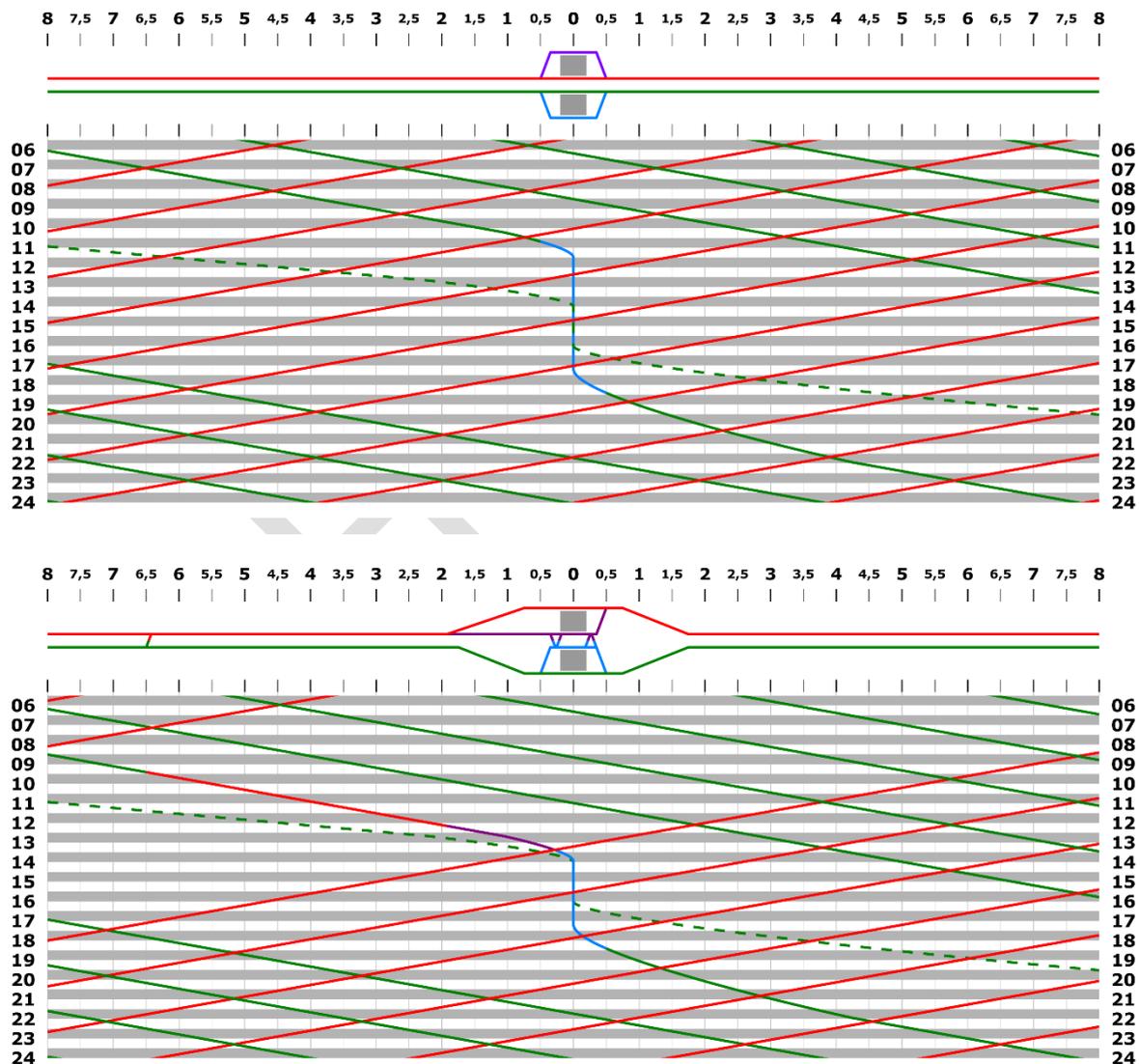


Abbildung 25: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Güterzugs (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine Kombination von 4,5 km Gegengleisfahrt und 1,5 km Dreigleisigkeit vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Die Betrachtung der Güterverkehr-Personenfernverkehr-Überholung ergibt ein ähnliches Bild wie bei den Überholungen zwischen Personennah- und Personenfernverkehr: Nur, wenn spezifische Gründe vorliegen sollten, aufgrund derer die vielen Güterverkehrstrassen der Gegenrichtung zu den fraglichen Zeitlagen ohnehin nicht umsetzbar wären, wäre diese Variante aus Kapazitätssicht insgesamt vorteilhaft.

3.1.4.4. Langer Dreigleisabschnitt und kurze Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug ohne Haltestelle im Dreigleisabschnitt

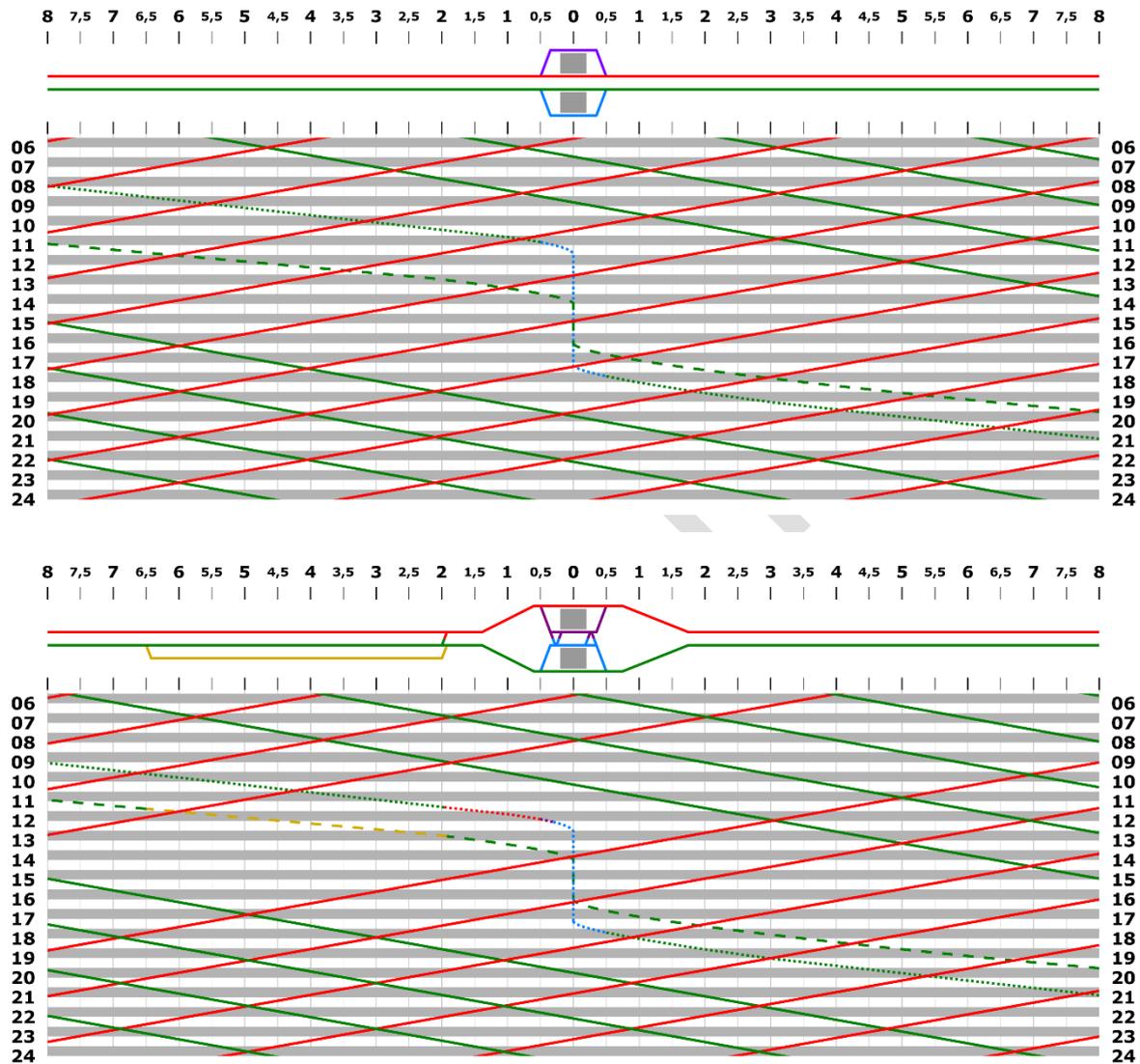


Abbildung 26: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine Kombination von 4,5 km Dreigleisigkeit und 1,5 km Gegengleisfahrt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Die Kombination eines längeren Dreigleisabschnitts und einer kürzeren Gegengleisfahrt ergibt in Bezug auf die Streckenkapazitäten bzw. die möglichen Zugfolgezeiten beider Richtungen ein wesentlich besseres Ergebnis als die zuvor angeführten Varianten mit Gegengleisfahrt: In einer Richtung (von links nach rechts in Abbildung 26) können die Zugfolgezeiten durch die längere Entflechtung dank des Dreigleisabschnitts wesentlich stärker verkürzt werden als durch die unter 3.1.3.1 beschriebene Variante mit Gegengleisfahrt ohne Dreigleisabschnitt. Die Nachteile für die andere Richtung (von links nach rechts in Abbildung 26) hingegen verstärken sich gegenüber der Variante gemäß 3.1.3.1 nicht.

3.1.4.5. Langer Dreigleisabschnitt und kurze Gegengleisfahrt bei Überholung eines Personennahverkehrszugs durch einen Personenfernverkehrszug mit Haltestelle im Dreigleisabschnitt

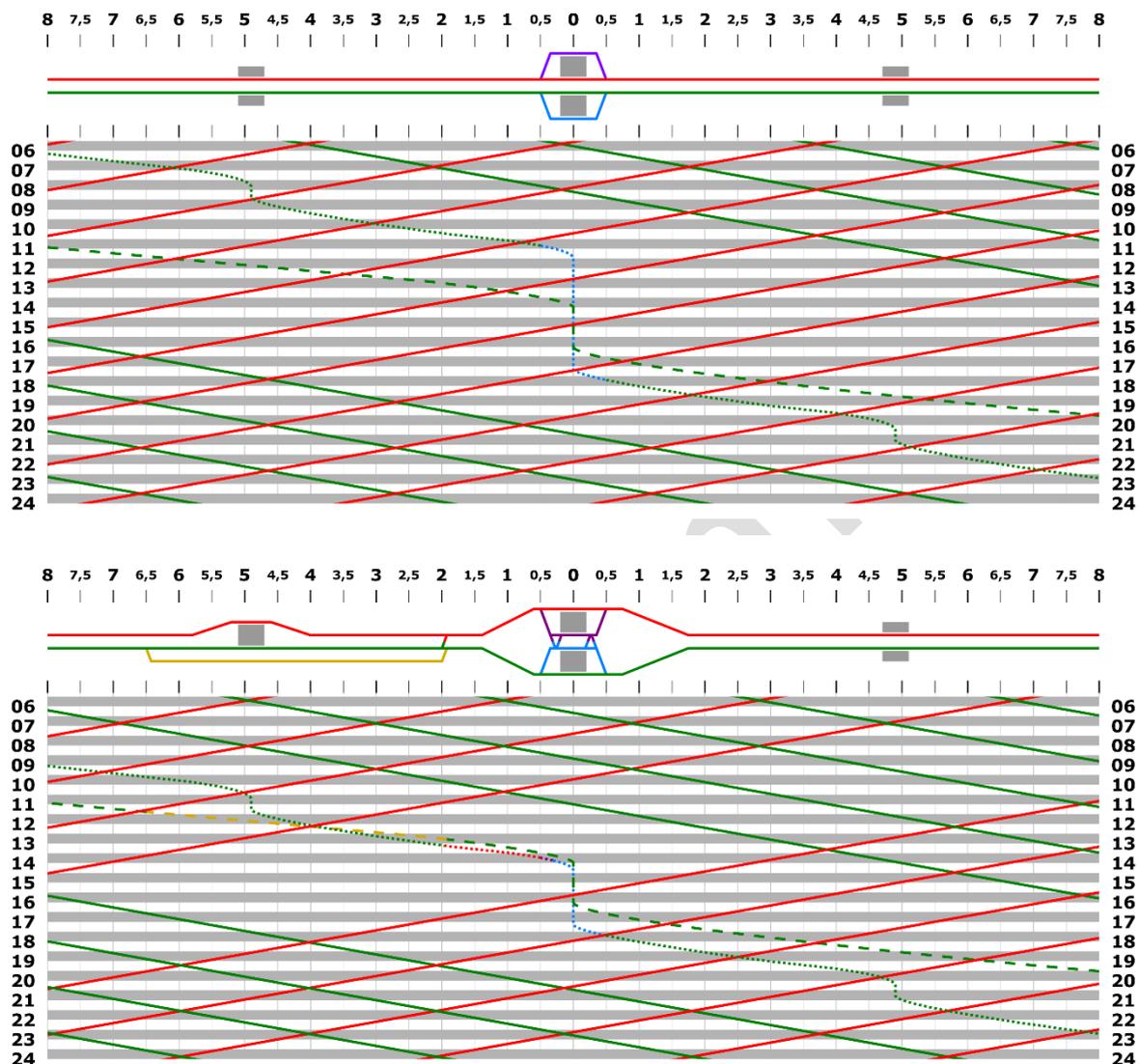


Abbildung 27: Bildfahrplanarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, mit je einer Nahverkehrshaltestelle beiderseits des Überholbahnhofs

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine Kombination von 4,5 km Dreigleisigkeit und 1,5 km Gegengleisfahrt vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Für die Kapazität noch günstiger stellt sich die Variante mit langer Dreigleisigkeit und kurzer Gegengleisfahrt dar, wenn im Dreigleisabschnitt eine Nahverkehrshaltestelle liegt und somit mehr von der Fahrzeitspreizung durch den dank Dreigleisigkeit entflochtenen Fahrwegabschnitt abgefangen wird.

3.1.4.6. Langer Dreigleisabschnitt und kurze Gegengleisfahrt bei Überholung eines Güterzugs durch einen Personenfernverkehrszug

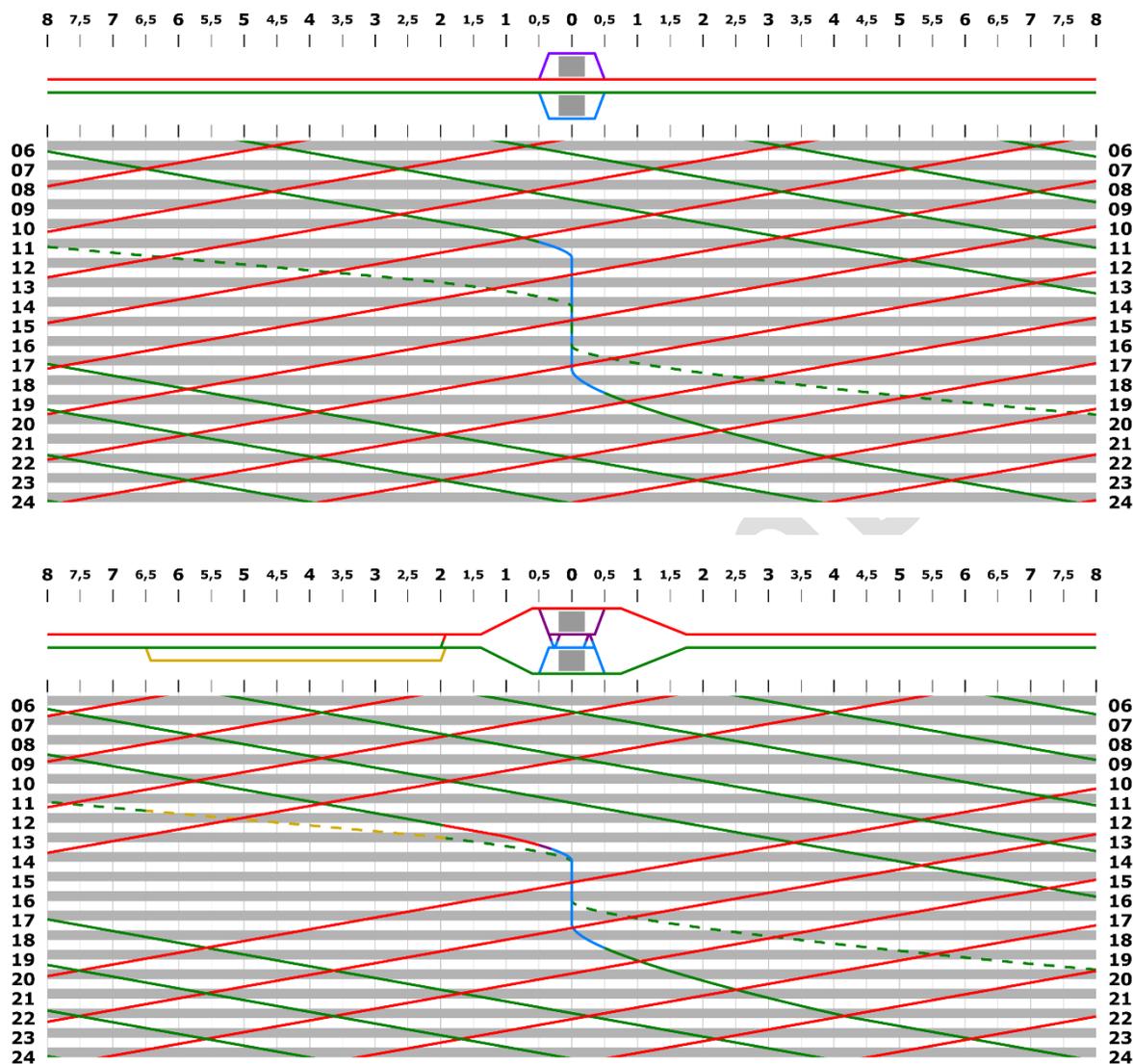


Abbildung 28: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Güterzugs (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung

Oben: Referenzfall ohne entflochtene Fahrwege, unten: Entflechtung der Einfahrwege durch eine Kombination von 4,5 km Gegengleisfahrt und 1,5 km Dreigleisigkeit vor der Bahnhofseinfahrt. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Auch bei Überholungen zwischen Güterverkehr und Personenfernverkehr ermöglicht die Kombination von langer Dreigleisigkeit und kurzer Gegengleisfahrt eine wesentlich bessere Kapazitätsausnutzung als die kurze Gegengleisfahrt alleine oder eine Kombination von langer Gegengleisfahrt und kurzer Dreigleisigkeit.

3.2. Sonstige Lösungsansätze

3.2.1. Versetzte Anordnung von Haltebahnhöfen des Fernverkehrs und Möglichkeiten für Fernverkehr-Güterverkehr-Überholungen

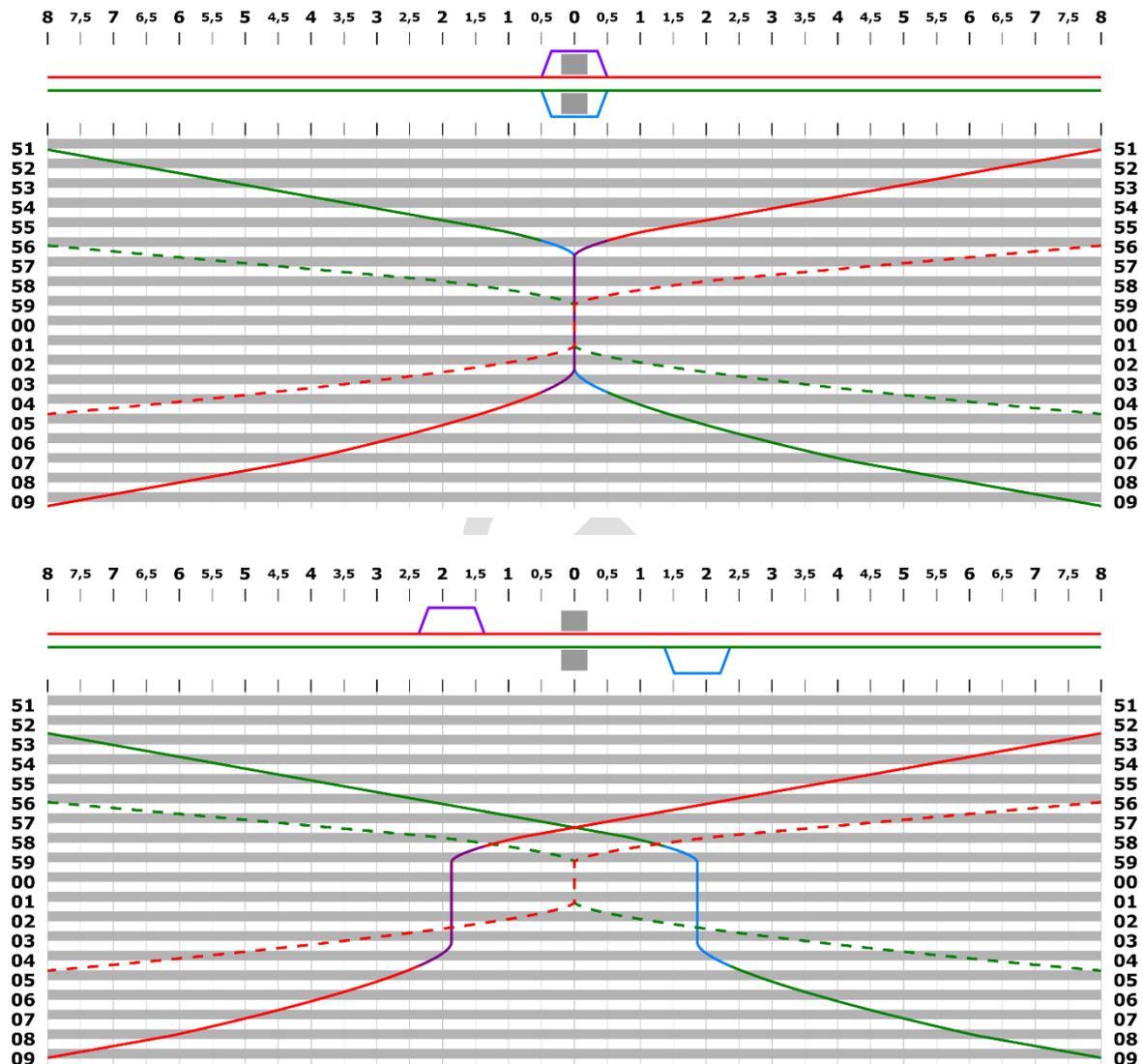


Abbildung 29: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Betrachtungsraum

Oben: Halt der Personenfernverkehrszüge und Überholungen im selben Bahnhof; unten: Überholung zwischen Personenfernverkehr und Güterverkehr jeweils in Fahrtrichtung hinter dem Haltebahnhof des Personenfernverkehrszugs. Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Die Zugfolgezeit vor einer Überholung zwischen einem Güterzug und einem Personenfernverkehrszug mit Halt des Personenfernverkehrszugs kann um fast eineinhalb Minuten verkürzt werden, wenn der Güterzug bis zum Haltebahnhof (oder bis zur Haltestelle) des Personenfernverkehrszugs mit unverminderter Geschwindigkeit fährt und erst danach zu bremsen beginnt, um an einem dahinter gelegenen Überholbahnhof vom Personenfernverkehrszug überholt zu werden. In Abbildung 29 ist eine solche Lösung symmetrisch zur Verkehrsstation dargestellt, in der der Personenfernverkehrszug hält. Ebenso gut denkbar wäre eine Lösung, bei der vor und nach einem langen Tunnel jeweils zwei Bahnhöfe nacheinander angelegt werden, von denen stets der unmittelbar am Tunnelportal gelegene dem Halt von Personenfernverkehrszügen dient und der im Bremswegabstand davon entfernte Bahnhof der Überholung von Güterzügen durch Personenfernverkehrszüge.

3.2.2. Bereitstellung einer Nachschiebehilfe für Güterzüge im Bahnhofsbereich

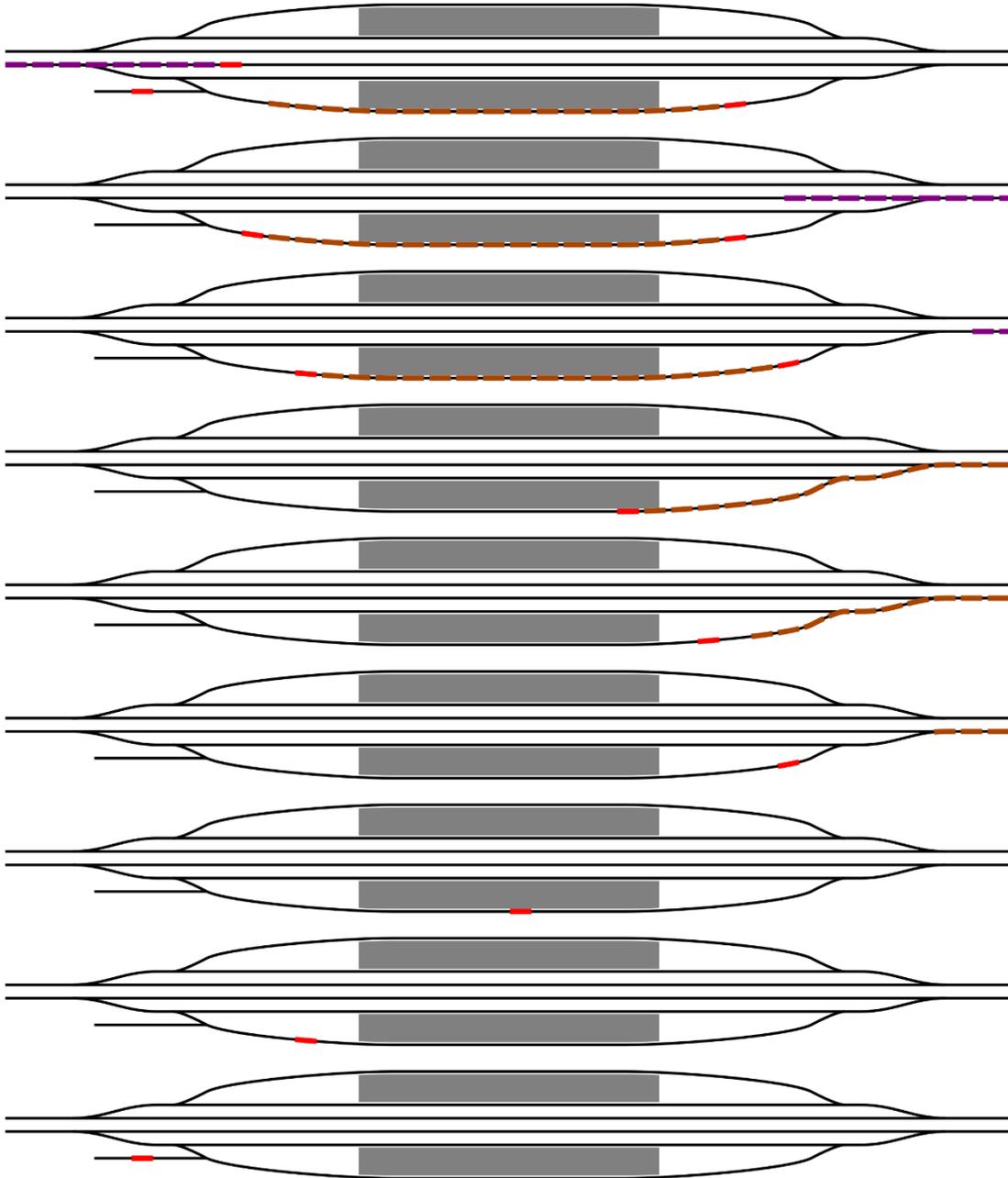


Abbildung 30: schematische Darstellung des Betriebs einer Nachschiebehilfe für Güterzüge im Bahnhofsbereich

Rot: Lokomotiven (einschließlich Nachschiebehilfe), violett: Wagen eines überholenden Personenzuges, braun: Wagen eines überholten Güterzugs.

In Bahnhöfen vor besonders langen Streckenabschnitten ohne Überholmöglichkeit, die somit besonders kritisch für die Kapazität der gesamten Strecke und die Vereinbarkeit des integralen Taktfahrplans mit anderen Trassenbegehren sind, könnte vom Infrastrukturbetreiber eine Nachschiebelok

bereitgestellt werden, die ohne anzukuppeln den Anfahrvorgang von Güterzügen unterstützt. Um Komplikationen mit der Leit- und Sicherungstechnik zu vermeiden und die Zugfolgezeit für nachfolgende Züge nicht zu verlängern, beschränkt sich die Nachschiebeleistung auf etwas weniger als die Bahnhofslänge, sodass die Nachschiebelok anhält und in ihre Ausgangsposition zurückkehrt, bevor sie das durchgehende Hauptgleis erreicht.

Die mögliche Verkürzung der Fahrzeit von Güterzügen durch das Nachschieben wurde durch die Fahrzeitenrechnung der Fahrplansoftware FBS bestimmt. Dabei wurde als Nachschiebelok ein Triebfahrzeug der Baureihe ÖBB 1043 (ASEA Rc2) ausgewählt, da dessen Anfahrzugkraft von 260 kN⁶ von allen erwogenen Triebfahrzeugen der zum Nachschieben maximal zulässigen Kraft von 240 kN⁷ am nächsten gekommen ist^d. Nachdem eine solche Nachschiebelok planmäßig im jeweiligen Bahnhof verbleibt, ist (bis auf die Stoßeinrichtungen) keinerlei Interoperabilität nötig und es wäre denkbar, dafür tatsächlich alte Elektrolokomotiven mit einem örtlich maßgeschneiderten Steuerungssystem einzusetzen. Für die Fahrzeitenrechnung wurde angenommen, dass die Nachschiebelok für die ersten 600 m des Anfahrens wirksam ist.

^d 240 kN sind der günstigste in der Vorschrift erwähnte Wert, es wurde optimistisch angenommen, dass andere Begrenzungen nicht zutreffen oder Ausnahmeregelungen gefunden werden können.

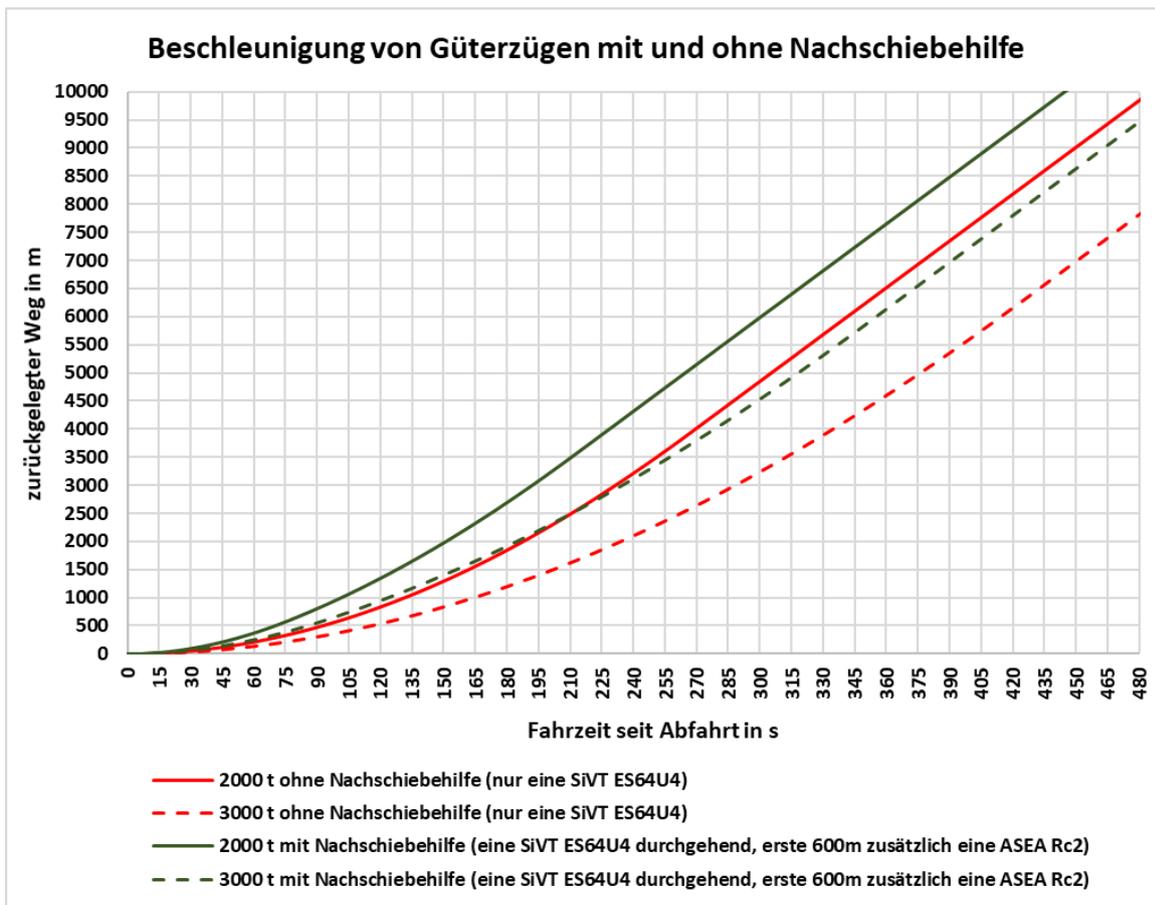


Abbildung 31: Zeit-Weg-Diagramm von Güterzügen mit und ohne Nachschiebehilfe

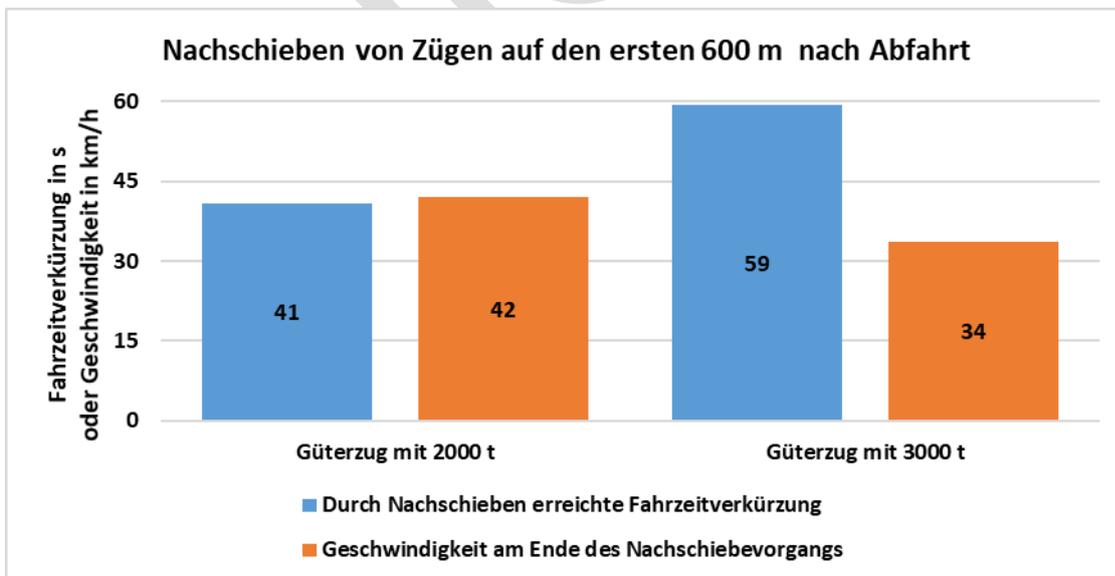


Abbildung 32: Fahrzeitverkürzung von Güterzügen durch Nachschieben auf den ersten 600 m des Anfahrvorgangs und erreichte Geschwindigkeit am Ende des Nachschiebevorgangs

Bei den zwei Beispielgüterzügen (2000 und 3000 t) und einer Siemens Eurosprinter ES 64U4 als führendes Triebfahrzeug würde das Nachschieben mit 41 bzw. 59 Sekunden Fahrzeitverkürzung einen relevanten Beitrag zu einer Verkürzung der Zugfolgezeiten und damit zur Ermöglichung zusätzlicher Fahrplantrassen leisten.

3.2.3. Durchfahrt eines taktüberlagerten Fernverkehrszuges in der Übergangszeit zwischen Nah- und Fernverkehr im Taktknoten

Im klassischen symmetrischen Vollknoten des integralen Taktfahrplans kommen entlang der jeweils gleichen Strecke zunächst die Nahverkehrszüge und danach die Fernverkehrszüge an, sodass sich ungeachtet etwaiger Anschlüsse zu Seitenstrecken auch eine gegenseitige Umsteigemöglichkeit zwischen Nah- und Fernverkehr entlang der gleichen Strecke ergibt. Damit diese Anschlüsse zuverlässig funktionieren, muss die für den Umsteigevorgang erforderliche Mindestübergangszeit kürzer sein als die Summe aus Zugfolgezeit zwischen Nah- und Fernverkehrszug plus Haltezeit des Fernverkehrszugs im Bahnhof. Derzeit ist auf der einen Seite eine Weiterentwicklung der Leit- und Sicherungstechnik in Richtung kürzerer Zugfolgezeiten sowie ein Trend zum Einsatz fahrgastwechselfreundlicher Fahrzeuge im Fernverkehr (z.B. Doppelstockzüge mit breiten Niederflureinstiegen) zu beobachten und auf der anderen Seite zunehmende Zuglängen und Rücksichtnahme auf mobilitätseingeschränkte Fahrgäste, also eher längere Mindestübergangszeiten. Das bedeutet, dass jedenfalls bei Umstiegen mit Bahnsteigwechsel oder mit sehr unterschiedlichen Zuglängen zwischen Nah- und Fernverkehr alleine zur Aufrechterhaltung der Mindestübergangszeit für umsteigende Fahrgäste eine längere Zeitspanne zwischen Nahverkehrsankunft und Fernverkehrsabfahrt erforderlich ist als rein technisch im Sinne von Mindestzugfolgezeit plus Mindesthaltezeit möglich wäre. Daraus ergibt sich die Gelegenheit, zwischen dem Personennahverkehrszug und dem taktintegrierten Personenfernverkehrszug noch einen taktüberlagerten Personenfernverkehrszug zu trassieren, der den gegenseitlichen Knotenbahnhof ohne Halt durchfährt.

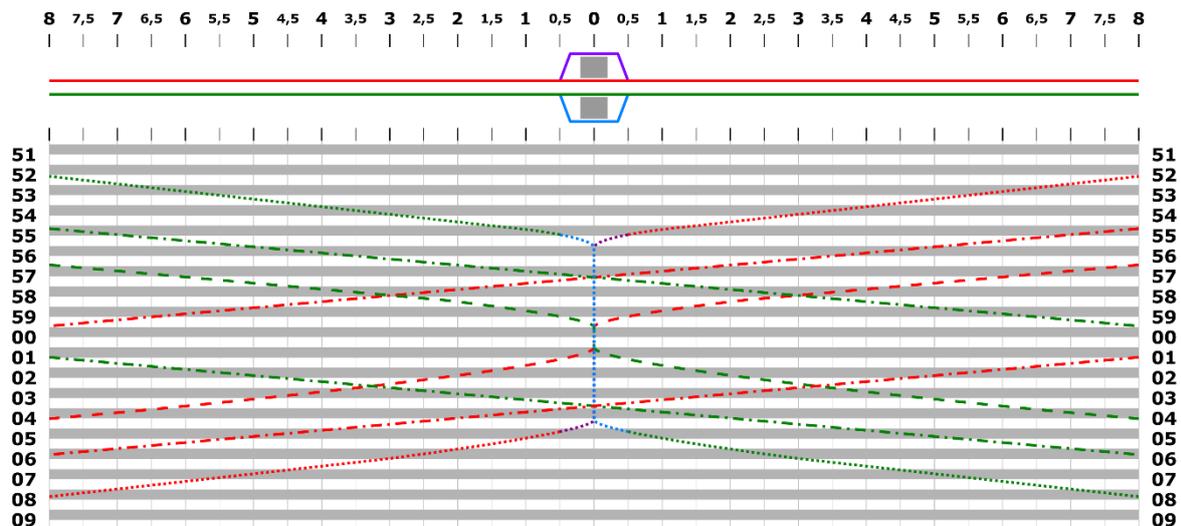


Abbildung 33: Trassierung von taktüberlagerten Personenfernverkehrszügen ohne Halt (strichpunktiert) zwischen Personennahverkehrszügen (punktiert) und taktintegrierten Personenfernverkehrszügen (strichliert)

Die Farben der Linien entsprechen den Farben der benutzten Gleise im Gleisschema darüber. An den vertikalen Kanten ist die Zeitachse dargestellt (Uhrzeit in Minuten), an der oberen horizontalen Kante die Wegachse (Kilometer von der Mitte des Überholbahnhofs).

Im in Abbildung 33 dargestellten Beispielfall betragen die Umsteigezeiten zwischen Nah- und Fernverkehr entlang der Strecke zwischen viereinhalb und fünf Minuten, wobei mit einem einminütigen Halt des Fernverkehrszuges gerechnet wurde. In Abbildung 33 sind zwei mögliche Trassen eines zusätzlichen, taktüberlagerten Fernverkehrszugs dargestellt, einmal vor und einmal nach dem haltenden, taktintegrierten Fernverkehrszug. Ein guter Kompromiss zwischen Betriebsstabilität und Nutzung von Zusatzkapazitäten könnte darin bestehen, einen taktüberlagerten Fernverkehrszug vorzusehen, der je nach aktueller Betriebssituation wahlweise vor oder nach dem haltenden, taktintegrierenden Fernverkehrszug fahren kann.

3.2.4. Verkürzung der Aufenthaltszeit von Zügen an ihren Endbahnhöfen

Die Verkürzung von Zugfolgezeiten, besonders bei der Ankunft in Knoten- und Überholbahnhöfen, bildet zwar den Schwerpunkt dieses Berichts, kann sich aber als nutzlos erweisen, wenn die Gleis- und Bahnsteigkapazitäten des betreffenden Bahnhofs nicht ausreichen. Diese Situation verschärft sich noch, wenn im Interesse besserer Pünktlichkeit weniger durchgehende Züge verkehren und stattdessen mehr Züge beginnen und enden. Hier zeigt sich ein Dilemma zwischen verschiedenen Zielen von Kapazitätsoptimierung und Pünktlichkeit:

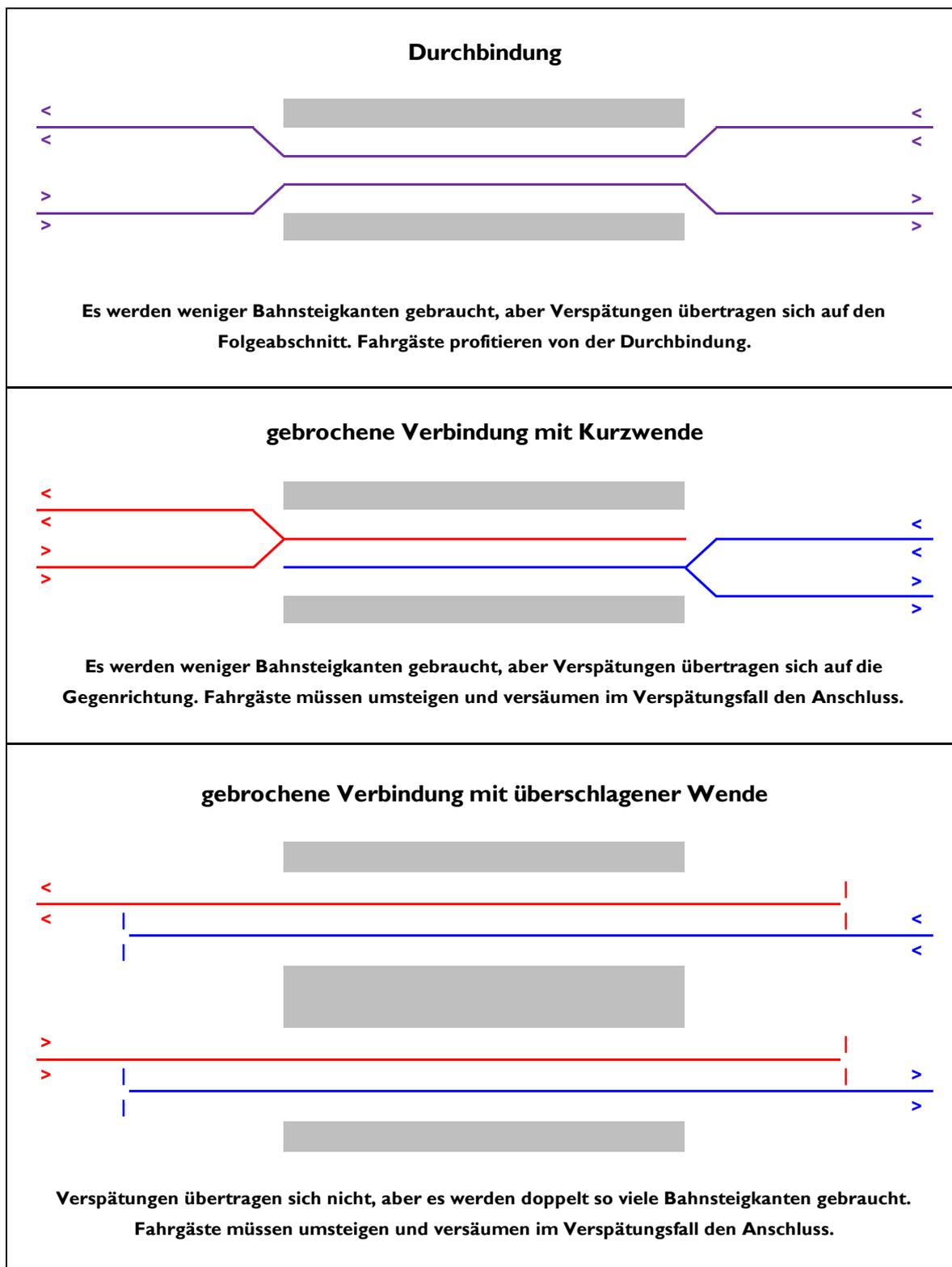


Abbildung 34: Optionen zur Durchbindung oder Brechung taktintegrierter Fernverkehrsverbindungen in Großknoten mit Vor- und Nachteilen

Ein wesentlicher Grund für den erhöhten Kapazitätsverbrauch endender und ausgehender anstelle durchgebundener Züge ist die traditionell lange Haltezeit endender Züge, bevor diese in eine Abstellgruppe weiterfahren. Geht man von den Haltezeiten durchgehender Züge aus und berücksichtigt den Umstand, dass zwar viele Fahrgäste aus-, aber keine Fahrgäste einsteigen, so müsste ein Halt von zwei, maximal drei Minuten ausreichen. In der Praxis stehen die Züge wesentlich länger an ihren Endbahnhöfen und eine häufige Konversation zwischen Fahrgästen lautet: „Wir haben es nicht eilig mit dem Aussteigen, es ist ja der Endbahnhof“. Um die Endhaltezeiten zu verkürzen und dadurch die Bahnsteigkapazitäten zu entspannen, wären zwei Vorgehensweisen denkbar:

- a) Fahrgäste könnten mittels Informationskampagne darauf aufmerksam gemacht werden, dass ein zügiges Aussteigen betrieblich höchst hilfreich wäre und man sich bitte vor dem Endbahnhof genauso rechtzeitig zum Aussteigen bereitmachen möge, wie man es auch an einem Unterwegsbahnhof tut.
- b) Man könnte den bisherigen Endbahnhof zu einem Unterwegsbahnhof machen. Dies wäre möglich, indem man Züge entweder tatsächlich zu einem weiteren Bahnhof verlängert, der entweder weniger kapazitätskritisch oder nur für eine geringe Anzahl an Fahrgästen attraktiv ist, oder indem man im Bereich der Abstellgruppe oder am Weg dorthin einen oder mehrere Bahnsteige mit minimaler Ausstattung einrichtet. Die Züge hätten dann beispielsweise nicht mehr „Wien Hauptbahnhof“ als Ziel, sondern „Wien Autoreisezuganlage“, sodass zwar weiterhin der weitaus überwiegende Großteil der Fahrgäste in Wien Hauptbahnhof aussteigen würde, dies aber im Bewusstsein, dass es nicht der Endbahnhof des Zuges ist.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1. Potenziale einzelner und Gesamtpotenzial aller erwogenen Maßnahmen

Von den erwogenen Maßnahmen bewirken unter den gewählten Berechnungsannahmen folgende drei eine Verkürzung der Zugfolgezeiten, die ausreicht, um unter ansonsten gleichen Bedingungen eine zusätzliche Zugtrasse pro Richtung und auftretender Spreizungssituation (also je nach Intervallen des Taktverkehrs etwa halbstündlich bis stündlich) zu ermöglichen:

- Entflechtung der Einfahrwege von Personennahverkehr und Personenfernverkehr über eine Länge von 6 km vor dem Überholbahnhof, sofern dieser Streckenabschnitt eine Zwischenhaltestelle enthält und primär durch dreigleisigen Ausbau (siehe 3.1.2.2)
- Entflechtung der Einfahrwege von Güterverkehr und Personenfernverkehr über eine Länge von 6 km vor dem Überholbahnhof, primär durch dreigleisigen Ausbau (siehe 3.1.2.3)
- Durchfahrt eines taktüberlagerten Fernverkehrszuges in der Übergangszeit zwischen Nah- und Fernverkehr im Taktknoten (siehe 3.2.3)

Die anderen erwogenen Maßnahmen reichen für sich alleine genommen nicht aus, um zusätzliche Zugtrassen zu ermöglichen. Sie können aber in Kombination miteinander oder durch Anwendung an mehreren Stellen zusätzliche Zugtrassen ermöglichen, oder wenn im Referenzfall noch gewisse Reserven an Kapazitäten bzw. Zugfolgezeiten vorhanden wären, die für sich alleine genommen aber auch nicht ausreichen, um zusätzliche Züge trassieren zu können. Dies wäre beispielsweise insofern denkbar, als Kapazitätsgewinne durch ETCS-only statt PZB vielleicht noch nicht in allen Langfrist-Fahrplankonzepten „eingepreist“ sind. Besonders vielversprechend erscheinen hier die versetzte Anordnung von Haltebahnhöfen des Fernverkehrs und Möglichkeiten für Fernverkehr-Güterverkehr-Überholungen (siehe 3.2.1), die Nachschiebehilfe für anfahrende Güterzüge (siehe 3.2.2) oder die Entflechtung der Einfahrwege von Personennah- und -fernverkehr durch dreigleisigen Ausbau, der jedoch keine Haltestelle umfasst (siehe 3.1.2.1.)

Etwaige Handlungsspielräume, die nicht für planmäßige Zusatztrassen genutzt werden können, entfalten dennoch potenziellen Nutzen im Sinne einer verbesserten Betriebsstabilität durch leichteren Abbau von Verspätungen.

4.2. Abwägung kapazitätsbezogener Vor- und Nachteile des Gegengleisfahrens über kürzere oder längere Abschnitte

Die Berechnungen zu den erwogenen Lösungsansätzen mit Gegengleisfahren haben klar gezeigt, dass eine Entflechtung der Fahrwege durch drei- oder mehrgleisigen Ausbau hinsichtlich der Kapazitätswirkung einer Entflechtung durch Gegengleisfahrt deutlich überlegen ist.

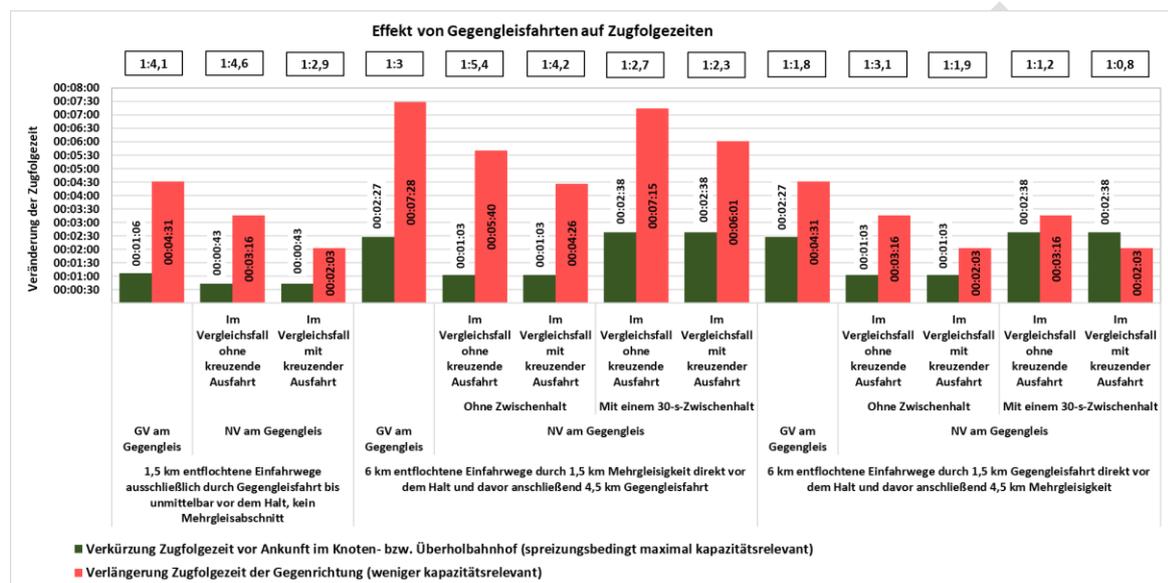


Abbildung 35: Gegenüberstellung der Veränderung von Zugfolgezeiten beider Richtungen durch Gegengleisfahrten gemäß Abschnitt 3.1.3.

Die eingerahmten Zahlen am oberen Rand des Diagramms kennzeichnen das Verhältnis zwischen Zugfolgezeitverkürzung in einer Richtung und Zugfolgezeitverlängerung in der Gegenrichtung.

Abbildung 35 erlaubt eine Bilanz zwischen den positiven und negativen Kapazitätseffekten von Gegengleisfahrten. Dabei sind die grünen Balken (Verkürzung der Zugfolgezeit vor Ankunft im Überholbahnhof) grundsätzlich stärker zu gewichten als die roten Balken (Verlängerung der Zugfolgezeiten der Gegenrichtung), da die Zugfolge der Ankünfte vor dem Überholbahnhof in Strecken mit wesentlicher Geschwindigkeitsspreizung bekanntermaßen von größter Relevanz für die Gesamtkapazität der Strecke ist, während es bei den Trassen der Gegenrichtung, die auf den ersten Blick durch das Gegengleisfahren verunmöglicht werden, einer näheren Beurteilung der konkreten Situation bedürfte, ob diese Trassen tatsächlich nachgefragt sind und nicht ohnehin aufgrund von Trassenkonflikten an anderen Stellen der Strecke zu den fraglichen Minuten nicht gefahren werden können.

Wo ein drei- oder gar viergleisiger Ausbau ohne besondere Schwierigkeiten möglich ist, wäre es unseriös, Gegengleisfahrten als kostengünstigere Alternative dazu vorzuschlagen. Bekanntermaßen

gibt es aber häufig naturräumliche oder siedlungsstrukturelle Hindernisse, die bestandsnahe mehrgleisige Ausbauten verunmöglichen. In diesen Fällen erscheint es wiederum höchst sinnvoll, Lösungen mit vermehrtem Gegengleisfahren zu prüfen, anstatt entweder mit der Bestandssituation vorliebnehmen oder große Summen in bestandsferne Neubauprojekte mit hohem Kunstbautenanteil investieren zu müssen.

Am erfolgversprechendsten wirkt diesbezüglich die Lösung mit einer kurzen Gegengleisfahrt direkt vor dem Knoten und einem längeren Drei- oder Viergleisabschnitt weiter im Vorfeld: Erstens ergibt sich hier das beste Verhältnis zwischen verkürzter Zugfolgezeit in der einen und verlängerter Zugfolgezeit in der anderen Richtung (im günstigsten Fall sogar über 1 – siehe rechteste Spalte in Abbildung 35). Zweitens erscheint diese Lösung insofern besonders realistisch, als die Strecke näher am Knoten- bzw. Überholbahnhof, also vermutlich im dichteren Siedlungsraum, zweigleisig bleibt und weiter weg davon, also in der Regel in ländlicherer Umgebung, drei- oder viergleisig ausgebaut wird. Hinsichtlich möglicher Maßnahmenkombinationen sei erwähnt, dass sich ein Gegengleisfahren kurz vor dem Überholbahnhof und die Lösung mit Durchfahrt eines taktüberlagerten Fernverkehrszuges in der Übergangszeit zwischen Nah- und Fernverkehr im Taktknoten (siehe 3.2.3) mit hoher Wahrscheinlichkeit gegenseitig ausschließen, weil der taktüberlagerte Fernverkehrszug nicht wie die taktintegrierten Züge den Taktknoten nach der Knotenzeit verlässt, sondern knapp vor der Knotenzeit durchfährt.

4.3. Aufwand-Wirkungs-Beurteilung selektiv mehrgleisiger Ausbauten

Aus Sicht des Personenverkehrs (integraler Taktfahrplan und seine Verträglichkeit mit taktüberlagerten zusätzlichen Personenfernverkehrszügen) erscheinen dreigleisige Ausbauten über einige Kilometer vor den Taktknoten entscheidend. Geht man von einem Halbstundentakt des integralen Taktfahrplans aus, so kann (muss aber nicht!) alle 15 Minuten ein Taktknoten vorliegen, bei einem Stundentakt beträgt der Abstand ein Vielfaches von 30 Minuten Kantenzzeit (also Fahrzeit plus halbe Mindestübergangszeiten in den Knoten). Bei komplexeren Fahrplanmodellen mit Fernverkehr unterschiedlicher Geschwindigkeiten und Haltemuster ergeben sich noch weitere mögliche Taktknotenabstände, umgekehrt kommt es aber bei weitem nicht an jedem Taktknoten zu kapazitätskritischen Fahrzeitspreizungs- und Zugfolgesituationen.

Für eine realistische Überslagsrechnung kann nach grober Betrachtung des österreichischen Bahnnetzes davon ausgegangen werden, dass die für Kapazität und integralen Taktfahrplan relevanten Knotenbahnhöfe etwa 50 km voneinander entfernt sind. Wenn an beiden Enden die beispielhaft vorgeschlagenen Dreigleisabschnitte von je 6 km Länge realisiert werden, wären dies 12 km neues

Gleis, die bei einem Halbstundentakt zwei zusätzliche Züge stündlich pro Richtung ermöglichen würden. Dieses Verhältnis von 200 Zug-km pro Stunde zu 12 km Neubaugleis ist äquivalent zu einer isoliert betrachteten zweigleisigen Neubaustrecke, die von über 16 Zügen pro Stunde und Richtung befahren wird.

Aus der Perspektive des Güterverkehrs und der Betriebsstabilität wäre es freilich auch wünschenswert, zwischen den Taktknoten weitere Überholbahnhöfe mit Dreigleisabschnitten vor der Einfahrt und den für operatives Gegengleisfahren erforderlichen Überleitstellen auszustatten. Dies könnte beispielsweise dadurch geschehen, dass auf 740 m Güterzuggleislänge aus- oder neuzubauende Bahnhöfe zusätzlich mit längeren Dreigleisabschnitten vor der Einfahrt und Überleitstellen im Vorfeld versehen werden. Besonders effizient wäre es, Abschnitte zwischen zwei Bahnhöfen von geeigneter Entfernung durchgehend dreigleisig auszubauen, sodass das mittlere Gleis wahlweise bzw. abwechselnd zur Entflechtung der Einfahrten des einen Bahnhofs in der einen Richtung und des anderen Bahnhofs in der anderen Richtung herangezogen werden kann:

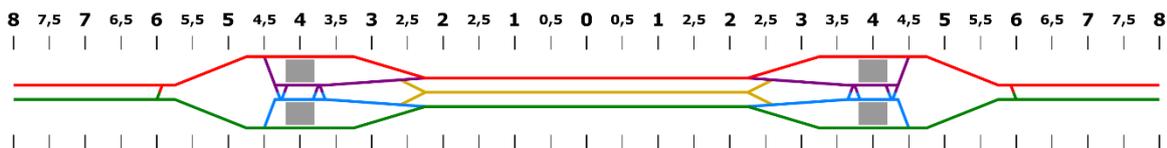


Abbildung 36: Durchgehende Dreigleisigkeit zwischen zwei Überholbahnhöfen zur richtungsweise abwechselnden Nutzung

Hinsichtlich einer etwaigen planmäßigen Nutzung einer solchen Konstruktion innerhalb des Personenverkehrs müssten folgende Aspekte bedacht werden:

- Bei einer Anwendung in Streckenmitte zwischen zwei Taktknoten würde das Problem eintreten, dass sich die Züge gleicher Linien genau im Bereich der Dreigleisigkeit begegnen, also die Überhol- bzw. Entflechtungsmöglichkeit gleichzeitig in beiden Richtungen beanspruchen.
- Bei anderen Kreuzungen zwischen personenbefördernden Zügen untereinander ergibt sich aus den richtungsweise unterschiedlichen Überholbahnhöfen eine gewisse Asymmetrie des Fahrplans zumindest mancher der beteiligten Züge. Dies könnte aber möglicherweise andersorts ausgeglichen werden, etwa durch richtungsweise unterschiedliche Mindestübergangszeiten in Knotenbahnhöfen (in einer Richtung bahnsteiggleicher Umstieg, in der anderen mit Bahnsteigwechsel) oder aufgrund der unterschiedlichen Zugfolgezeiten für Ein- und Ausfahrt, sofern keine Entflechtung der Fahrwege der einfahrenden Züge umgesetzt wird.

4.4. Bedeutung geeigneter Gleiskonfigurationen für effiziente Übergänge zwischen Mehrgleisabschnitten, Gegengleisfahrten und Bahnhofsbereichen

Das Prinzip entflochtener Fahrwege zur Verkürzung der Zugfolgezeiten beim Einfahren in Überholbahnhöfe funktioniert nur, wenn die Gleistopologie von Bahnhof und Strecke dazu passt, sodass sich die Fahrwege von überholendem und überholtem Zug frühestens in der Bahnhofsabfahrt hinter dem Haltepunkt wieder treffen. Bei einer durchgehenden Dreigleisigkeit kann dies auch mit einer traditionellen Bahnhofskonfiguration bewerkstelligt werden, indem eines der nicht durchgehenden Hauptgleise verlängert wird. Sobald jedoch auch nur teilweise auf Gegengleisfahrten gesetzt wird, ist eine durchdachtere Gleiskonfiguration nötig, ein bloßes Hinzufügen eines außenliegenden dritten Gleises für Nah- oder Güterverkehr sowie von Überleitstellen zu einem traditionell konfigurierten Bahnhof mit schnell befahrbaren durchgehenden Hauptgleisen in der Mitte wäre nutzlos, weil sich die Fahrwege von überholendem und überholtem Zug noch vor dem Überholbahnhof berühren (Abbildung 37 oben). Die Abbildung 37 in der Mitte dargestellte Konfiguration wäre zwar mit Gegengleisfahrt des überholenden Zuges möglich, dies hätte jedoch zur Folge, dass die betreffenden Überleitstellen sowohl in gerader Richtung, als auch in Ablenkungsrichtung mit hoher Geschwindigkeit befahrbar sein müssen, das die schnellsten Züge (also in der Regel Personenfernverkehrszüge) je nach Situation am Regelgleis oder am Gegengleis fahren, lediglich das einseitig außen hinzugefügte Gleis befahren sie nie. In Abbildung 37 unten ist eine Gleiskonfiguration dargestellt, die eine Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt ermöglicht und dabei mit Weichen auskommt, die nur in einer Richtung mit maximal befahrener Geschwindigkeit auskommt, weil die schnellsten Züge immer die äußeren Gleise nutzen und lediglich die langsameren Nahverkehrs- und Güterzüge wahlweise die äußeren Gleise oder das mittlere Gleis nutzen.

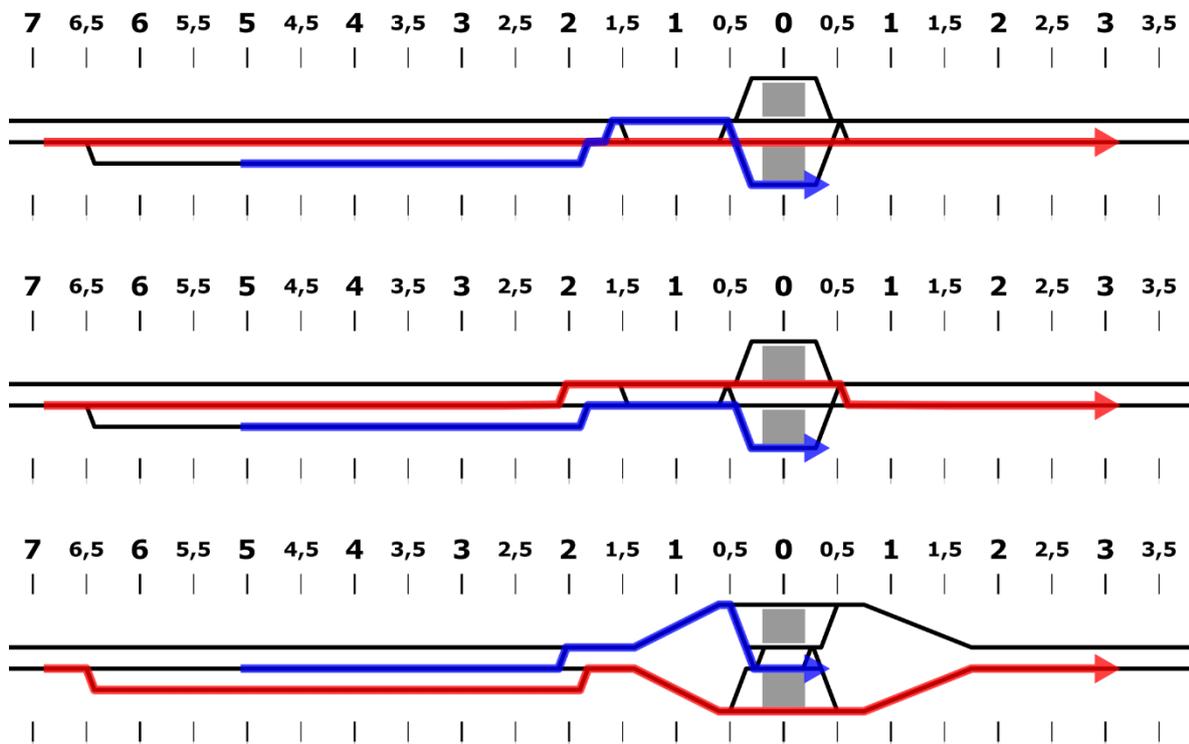


Abbildung 37: Oben: ungeeignete Gleiskonfiguration für entflochtene Fahrwege bei der Einfahrt bei Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt vor dem Überholbahnhof (Fahrwege des überholten Zuges und des überholenden Zuges kreuzen sich im kritischen Abschnitt), Mitte: geeignete Gleiskonfiguration für entflochtene Fahrwege bei der Einfahrt bei Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt vor dem Überholbahnhof, erfordert jedoch Überleitstellen mit auf beide Seiten in hoher Geschwindigkeit befahrbaren Weichen (schnellste Züge fahren je nach Situation auf Regel- oder Gegengleis), Unten: geeignete Gleiskonfiguration für entflochtene Fahrwege bei der Einfahrt bei Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt vor dem Überholbahnhof ohne Notwendigkeit von Weichen, die auf beide Seiten in hoher Geschwindigkeit befahren werden können (schnellste Züge fahren immer auf den äußeren Gleisen). Rot: überholender Zug, blau: überholter Zug.

Die in Abbildung 37 unten gezeigte Gleiskonfiguration mit außen verlaufenden schnell befahrbaren Gleisen und innen verlaufenden langsamer befahrbaren Gleisen hat weitere Vorteile bzw. Anwendungsfälle:

- Wendevorgänge können in der Mitte zwischen den Hauptgleisen stattfinden, sodass weder kreuzende Ein- noch Ausfahrten nötig sind (siehe auch bildfahrplanartige Darstellung in Abbildung 10).



Abbildung 38: Links: Wende an einem innen liegenden Bahnsteiggleis ohne Erfordernis kreuzender Fahrten, Rechts: Wende an einem außen liegenden Bahnsteiggleis mit kreuzender Ausfahrt (blauer Pfeil Richtung links kreuzt roten Pfeil Richtung rechts).

- Die wahlweise bzw. abwechselnde Nutzung eines dritten Gleises für beide Richtungen erfordert symmetrische Verhältnisse, also gleich gute Erreichbarkeit von beiden Richtungsgleisen an beiden Enden des Dreigleisabschnitts.

Nachteilig an der Lösung mit schnellen Gleisen außen und langsameren Gleisen innen ist eine höhere Flächeninanspruchnahme aufgrund der größeren Ausrundungsradien im Übergang zwischen Zwei- und Mehrgleisigkeit bzw. an den Bahnhofsköpfen.

5. VERZEICHNISSE

5.1. Allgemeine Angaben

Auftraggeber:	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie / BMK
Prüfgegenstand:	Minimalinvasive Lösungsansätze zur besseren trassentechnischen Verträglichkeit von integralem Taktfahrplan, taktüberlagerten Personenfernverkehrszügen sowie Güterzügen
Prüfungsleitung:	Harald Buschbacher

5.2. Abkürzungsverzeichnis

ETCS	European Train Control System
FBS	Fahrplan-Bearbeitungs-System
ITF	Integraler Taktfahrplan
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
PSO-VO	Public-Service-Obligation – Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über öffentliche Personenverkehrsdienste auf Schiene und Straße)

5.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Bildfahrplandarstellung von Mischverkehrsstrecken mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten je Marktsegment (jeweils nur ein Richtungsgleis dargestellt)	11
Abbildung 2: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof	16
Abbildung 3: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof.....	16
Abbildung 4: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof	17
Abbildung 5: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof.....	17
Abbildung 6: schematische Darstellung der wesentlich längeren Zugfolgezeiten vor der Einfahrt auf verschiedene Gleise gegenüber wesentlich kürzeren Zugfolgezeiten nach der Ausfahrt von verschiedenen Gleisen unter ETCS und der jeweiligen Komponenten dieser Zugfolgezeiten.	18

Abbildung 7: Bildfahrplandarstellung einer Überholung eines Personennahverkehrszuges (punktirt) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung	20
Abbildung 8: Bildfahrplandarstellung einer Überholung eines Güterzuges (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung	20
Abbildung 9: Bildfahrplandarstellung der Wende eines Personennahverkehrszuges (punktirt) mit kreuzender Ausfahrt.....	21
Abbildung 10: Bildfahrplandarstellung der Wende eines Personennahverkehrszuges (punktirt) mit kreuzungsfreier Ein- und Ausfahrt.....	22
Abbildung 11: mögliche Verkürzung von Zugfolgezeiten eines haltenden und eines durchfahrenden Zuges durch Entflechtung der Fahrwege bei der Einfahrt	23
Abbildung 12: Näherungsweise Verkürzung der möglichen Zugfolgezeit zweier im selben Bahnhof haltender Züge durch Entflechtung der Fahrwege bei der Einfahrt	24
Abbildung 13: Fahrzeitspreizung zwischen unterschiedlich schnellen Zügen abseits von Halten	25
Abbildung 14: Fahrzeitverlängerung im Personenverkehr pro Halt in Abhängigkeit von der Höchstgeschwindigkeit mit Angabe der Längen von Brems- und Beschleunigungsweg.....	26
Abbildung 15: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum.....	28
Abbildung 16: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum.....	29
Abbildung 17: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof je einer Nahverkehrshaltestelle beiderseits des Überholbahnhofs.....	30
Abbildung 18: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Personennahverkehrszügen (punktirt) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof mit je einer Nahverkehrshaltestelle beiderseits des Überholbahnhofs.....	31
Abbildung 19: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) ohne Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof	33
Abbildung 20: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof.....	34
Abbildung 21: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktirt) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung.....	35
Abbildung 22: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Güterzuges (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung	37

Abbildung 23: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum.....	38
Abbildung 24: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, mit je einer Nahverkehrshaltestellen beiderseits des Überholbahnhofs im Betrachtungsraum	39
Abbildung 25: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Güterzugs (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung.....	40
Abbildung 26: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, ohne Nahverkehrshaltestellen im Betrachtungsraum.....	42
Abbildung 27: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Personennahverkehrszugs (punktiert) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung, mit je einer Nahverkehrshaltestelle beiderseits des Überholbahnhofs.....	44
Abbildung 28: Bildfahrplandarstellung der Überholung eines Güterzugs (volle Linie) durch einen Personenfernverkehrszug (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Überholbahnhof in einer Fahrtrichtung und geschwindigkeitshomogenem Güterverkehr in der anderen Fahrtrichtung.....	45
Abbildung 29: Bildfahrplandarstellung der Überholung von Güterzügen (volle Linien) durch Personenfernverkehrszüge (strichliert) mit Halt des Personenfernverkehrszugs im Betrachtungsraum	46
Abbildung 30: schematische Darstellung des Betriebs einer Nachschiebehilfe für Güterzüge im Bahnhofsbereich.....	48
Abbildung 31: Zeit-Weg-Diagramm von Güterzügen mit und ohne Nachschiebehilfe.....	50
Abbildung 32: Fahrzeitverkürzung von Güterzügen durch Nachschieben auf den ersten 600 m des Anfahrvorgangs und erreichte Geschwindigkeit am Ende des Nachschiebevorgangs	50
Abbildung 33: Trassierung von taktüberlagerten Personenfernverkehrszügen ohne Halt (strichpunktiert) zwischen Personennahverkehrszügen (punktiert) und taktintegrierten Personenfernverkehrszügen (strichliert).....	52
Abbildung 34: Optionen zur Durchbindung oder Brechung taktintegrierter Fernverkehrsverbindungen in Großknoten mit Vor- und Nachteilen	53
Abbildung 35: Gegenüberstellung der Veränderung von Zugfolgezeiten beider Richtungen durch Gegengleisfahrten gemäß Abschnitt 3.1.3.	56
Abbildung 36: Durchgehende Dreigleisigkeit zwischen zwei Überholbahnhöfen zur richtungsweise abwechselnden Nutzung.....	58

Abbildung 37: Oben: ungeeignete Gleiskonfiguration für entflochtene Fahrwege bei der Einfahrt bei Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt vor dem Überholbahnhof (Fahrwege des überholten Zuges und des überholenden Zuges kreuzen sich im kritischen Abschnitt), Mitte: geeignete Gleiskonfiguration für entflochtene Fahrwege bei der Einfahrt bei Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt vor dem Überholbahnhof, erfordert jedoch Überleitstellen mit auf beide Seiten in hoher Geschwindigkeit befahrbaren Weichen (schnellste Züge fahren je nach Situation auf Regel- oder Gegengleis), Unten: geeignete Gleiskonfiguration für entflochtene Fahrwege bei der Einfahrt bei Kombination von Dreigleisigkeit und Gegengleisfahrt vor dem Überholbahnhof ohne Notwendigkeit von Weichen, die auf beide Seiten in hoher Geschwindigkeit befahren werden können (schnellste Züge fahren immer auf den äußeren Gleisen). Rot: überholender Zug, blau: überholter Zug. 60

Abbildung 38: Links: Wende an einem innen liegenden Bahnsteiggleis ohne Erfordernis kreuzender Fahrten, Rechts: Wende an einem außen liegenden Bahnsteiggleis mit kreuzender Ausfahrt (blauer Pfeil Richtung links kreuzt roten Pfeil Richtung rechts)..... 61

5.4. Quellenverzeichnis

Siehe Endnoten.

¹ SCHIG mbH: Spezifische Energieeffizienz-Analyse des Schienenverkehrs: https://www.schig.com/fileadmin/Media/Blogs/2022/InES_Spezifische_Energieeffizienzanalyse_Eisenbahn/Bericht_der_SCHIG_mbH.pdf; 2.12.2024

² Europäische Kommission: Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the use of railway infrastructure capacity in the single European railway area, amending Directive 2012/34/EU and repealing Regulation (EU) No 913/2010: https://transport.ec.europa.eu/document/download/9393e22e-72ee-440d-a983-e2ee116e11ba_en?filename=COM_2023_443_0.pdf; 2.12.2024

³ Europäisches Parlament: POSITION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT adopted at first reading on 12 March 2024 with a view to the adoption of Regulation (EU) 2024/... of the European Parliament and of the Council on the use of railway infrastructure capacity in the single European railway area, amending Directive 2012/34/EU and repealing Regulation (EU) No 913/2010 (EP-PE_TCI-COD(2023)0271): https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TCI-COD-2023-0271_EN.pdf; 2.12.2024

⁴ Rat der Europäischen Union: Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of railway infrastructure capacity in the single European railway area, amending Directive 2012/34/EU and repealing Regulation (EU) No 913/2010 – General approach: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10938-2024-INIT/en/pdf>; 2.12.2024

⁵ European Railway Agency: Braking Curves Simulation Tool: https://www.era.europa.eu/system/files/2022-11/era_braking_curves_simulation_tool_en.xls?t=1733133736; 9.1.2024

⁶ Wikipedia: ÖBB 1043: https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96BB_1043; 3.12.2024

⁷ ÖBB Infrastruktur AG: Dienstvorschrift 30|03.32 Betriebliche Richtlinien – Zusatzbestimmung zur Signal- und Betriebsvorschrift, § 33 (5)