

Diploma Thesis

Elaboration and analysis of an infrastructure and railway operation concept at the example of the railway station in Hütteldorf

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Erarbeitung und Analyse eines Infrastruktur- und Betriebskonzepts am Beispiel des Bahnhofs Hütteldorf

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer

Diplom-Ingenieurin

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Maria Clara RASINGER, BSc

Matr.Nr.: 01307986

unter der Anleitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Norbert OSTERMANN**

Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Benno SCHMIEDER, BSc**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/230, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Jänner 2021



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

Ich bedanke mich herzlichst bei meinen Eltern, die mir durch ihre vielseitige Unterstützung das Studium ermöglicht haben. Besonderer Dank gilt meinem verstorbenen Vater, der mich bis zuletzt auf meinem Ausbildungsweg immer gefördert hat, aber leider meinen Studienabschluss nicht mehr erleben kann.

Ein großer Dank gilt meinem Betreuer Dipl.-Ing. Benno Schmieder für seine unterstützende und geduldige Betreuung. Weiter möchte ich mich bei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Ostermann bedanken, der mir diese Arbeit ermöglicht hat.

Abschließend gilt mein Dank allen meinen Freunden, Studienkollegen sowie Kollegen auf dem Institut für Verkehrswissenschaften für ihre Unterstützung in den unterschiedlichen Phasen meines Studiums.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Der Bahnhof Hütteldorf liegt im Westen von Wien und verknüpft mehrere Eisenbahnstrecken. Zum einen verlaufen durch Hütteldorf zwei Strecken, die eine West-Ost-Verbindung zwischen St. Pölten und Wien Westbahnhof darstellen. Zum anderen beginnen zwei Strecken in Hütteldorf, die den Norden und den Süd-Osten von Wien mit Hütteldorf verbinden. Der Knoten Hütteldorf erlaubt den Umstieg zwischen dem Regionalverkehr aus dem Westen und dem städtischen S-Bahn-Verkehr. Aufgrund seiner Lage und der Anzahl der zulaufenden Strecken stellt Hütteldorf demnach einen wichtigen Verkehrsknotenpunkt dar.

Wegen des zunehmenden Verkehrsaufkommens in Österreich und der Absicht, den Verkehr auf die Schiene zu verlagern, wird in die Erweiterung des Verkehrsangebots für den Fahrgast investiert. Aufgrund seiner Lage und verkehrlichen Bedeutung bietet sich u.a. der Knoten Hütteldorf für den Ausbau des Verkehrsangebots an. Um jedoch die Eigenschaften eines Knotens zu verstehen und infolgedessen seine Potenziale zur Erweiterung des Verkehrsangebots zu erkennen, bedarf es Bewertungswerkzeuge, welche einen Knoten klassifizieren und seine Funktionen beschreiben.

Knoten werden über ihre Eigenschaft der Verknüpfung von Strecken definiert. Die Funktionen von Knoten können über infrastrukturelle, betriebliche und verkehrliche Kennwerte beschrieben werden. Die Kennwerte erlauben eine Einschätzung von Knoten hinsichtlich ihrer Größe und Bedeutung. Gemäß der verkehrlichen Kennwerte handelt es sich bei Hütteldorf um einen Verkehrsknotenpunkt, der vor allem den Regional- und Nahverkehr bedient. Die infrastrukturellen Kennwerten betreffend weist Hütteldorf eine hohe Anzahl an Gleisen und Gleisverbindungen auf, wobei für die Abwicklung des Personenverkehrs nur ein Teil davon benutzt wird. Aus den betrieblichen Kennwerten geht hervor, dass in Hütteldorf der Schwerpunkt des Zugverkehrs auf der Verbindung zwischen dem Westen und dem Osten liegt und der Verbindung des Bahnhofs Hütteldorfs mit den Norden von Wien. Ein besonderes Merkmal der betrieblichen Kennwerte jedoch ist, dass diese den Betrieb nicht isoliert beschreiben, sondern im Zusammenhang mit dem Verkehr oder der Infrastruktur im Knoten betrachtet werden. Für eine detailliertere Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Infrastruktur und Betrieb dient die Untersuchungsmethode der Verkehrsstromanalyse. Bei dieser Analysemethode werden die Verkehrsströme und deren Beziehungen zueinander im Knoten untersucht und die auftretenden potenziellen Konfliktpunkte zwischen den einzelnen Verkehrsströmen identifiziert. Die Ergebnisse der Analyse der Verkehrsströme dienen zur Beschreibung unterschiedlicher Maßnahmen an Betrieb und Infrastruktur und deren Auswirkungen auf die Wechselwirkung zwischen Infrastruktur und Betrieb.

Für eine Ausweitung des Verkehrsangebots für den Fahrgast im Bahnhof Hütteldorf bietet sich eine Vielzahl von Maßnahmen an. Für die Erarbeitung eines Betriebs- und Infrastrukturkonzepts für den Knoten Hütteldorf werden Maßnahmen wie Änderungen in den Linienverläufen und Verdichtungen des Taktangebots durchgeführt und deren Auswirkungen auf die Wechselwirkung zwischen Infrastruktur und Betrieb mittels der Verkehrsstromanalyse untersucht.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

The Hütteldorf railway station is located in the west of Vienna and connects several railway lines. There are two railway lines which run through Hütteldorf providing a west-east connection between St. Pölten and Wien Westbahnhof. Additionally, there are two railway lines that start in Hütteldorf, connecting the north and the south-east of Vienna with the Hütteldorf railway station. The railway hub in Hütteldorf allows interchange between the regional railway from the west and the urban railway. Due to its location and the number of incoming railway lines, Hütteldorf thus represents an important railway hub.

Due to the increasing volume of traffic in Austria and the intention to shift traffic to rail transport, investments are being made to expand the range of services available to passengers. Due to its location and traffic significance, the railway hub in Hütteldorf, among others, lends itself to the expansion of traffic services. However, in order to understand the characteristics of a railway hub and, as a result, to identify its potential for expanding transportation services, assessment tools are needed that classify a railway hub and describe its functions.

Railway hubs are defined by their feature of linking railway lines. The functions of railway hubs can be described by means of infrastructural, operational and traffic parameters. The parameter values allow an assessment of railway hubs in terms of their size and importance. According to the traffic parameters, Hütteldorf is a transport hub that mainly serves regional and urban traffic. In terms of infrastructural parameters, Hütteldorf has a high number of tracks and switches, although only part of them are used for passenger transport. The operational parameters show that the main focus of train traffic in Hütteldorf is the connection between the west and the east and the connection of Hütteldorf station with the north of Vienna. A special feature of the operational parameters, however, is that they do not describe the railway operation in isolation but are linked to the railway traffic or infrastructure in the railway hub. For a more detailed analysis of the interaction between infrastructure and railway operation, the investigation method of traffic stream analysis is used. This analysis method examines the traffic streams and their relationship within the railway hub and identifies potential conflict points that could occur between the individual traffic streams. The results of the analysis of traffic streams are used to describe different measures in railway operation and infrastructure and their effects on the interaction between infrastructure and railway operation.

There are a number of measures that could be taken to expand the transport offer for passengers at the Hütteldorf railway station. For the development of an operational and infrastructure concept for the Hütteldorf railway hub, measures such as changes in the line routes and densification of the frequency offer are carried out and their effects on the interaction between infrastructure and railway operation are examined by means of the traffic stream analysis.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Ausgangslage	10
1.2	Fragestellung und Zielsetzung	13
1.3	Methoden	13
2	Analyse von Eisenbahnknoten	14
2.1	Vorgehensweise	14
2.1.1	Motivation und Zielsetzung	15
2.1.2	Bestandsaufnahme	15
2.1.3	Analyse	15
2.1.4	Optimierung	17
2.1.5	Zusammenfassung	17
2.2	Beschreibung und Aufbau von Bahnhöfen	17
2.2.1	Definition Bahnhof	17
2.2.2	Klassifizierung von Bahnhöfen	18
2.3	Beschreibung und Aufbau von Knoten	20
2.3.1	Definition Knoten	20
2.3.2	Typisierung von Knoten	21
2.3.3	Knotenkennwerte	22
2.4	Untersuchung von Verkehrsströmen	26
2.4.1	Charakterisierung der Relationen von Verkehrsströmen	26
2.4.2	Verkehrstromanalyse	27
2.4.3	Konfliktpotenzial von Verkehrsströmen	29
3	Analyse des Knotens Hütteldorf	32
3.1	Motivation und Zielsetzung	32
3.2	Bestandsaufnahme	32
3.3	Analyse des Knotens	34
3.3.1	Infrastrukturpotenzialanalyse	34
3.3.2	Fahrtenanalyse	38
3.3.3	Verkehrliche Analyse	39
3.3.4	Funktionale Analyse	40
3.4	Verkehrstromanalyse	42
4	Infrastruktur- und Betriebskonzept für den Knoten Hütteldorf	47
4.1	Entwicklung	47
4.1.1	Randbedingungen und Anforderungen an den Knoten	47
4.1.2	Bestimmung des Linienverlaufs durch den Knoten Hütteldorf	49
4.1.3	Findung von Linienführungen im Knoten	51
4.1.4	Verkehrstromanalyse und Vergleich der Varianten	54

4.1.5	Konzept zur Infrastruktur	60
4.1.6	Findung des Taktschemas	60
4.1.7	Fahrplan	61
4.2	Analyse des fiktiven Knotens	63
4.2.1	Knotenkennwerte	63
4.2.2	Konfliktpotenzial	68
4.2.3	Anmerkungen zum Konzept und weiterführende Untersuchungen .	69
5	Conclusio	71
	Abkürzungen	74
	Abbildungsverzeichnis	76
	Tabellenverzeichnis	77
	Literaturverzeichnis	80
	Anhang	
A	Gleisschema	81
B	Fahrzeitenmodell im Knoten Hütteldorf	83
C	Fahrplan der WESTbahn	85
D	Fahrtenverlauf im Bahnhof Hütteldorf	87

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Bevölkerung in Österreich, vor allem in Wien, wächst (Statistik Austria 2019a) und gleichzeitig nimmt das Verkehrsaufkommen zu (Statistik Austria 2019b; Statistik Austria 2019c). Die Zunahme des Verkehrsaufkommens spiegelt sich auch in den Zahlen von Verkehrsunternehmen wider, die jährlich steigende Fahrgastzahlen verzeichnen (ÖBB 2018; Wiener Linien 2020).

Ebenfalls nimmt das Bewusstsein gegenüber dem Klimawandel und seinen Ursachen durch Treibhausgas-Emissionen zu. Der Anteil des Verkehrs in Österreich nimmt 45,8% der Treibhausgas-Emissionen ein (Umweltbundesamt 2019, S.58). Sowohl Umweltinstitutionen als auch die Politik sehen in diesem Sektor Potenziale zur Reduzierung der Emissionen u.a. durch Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene (BMNT und BMVIT 2018, S.66).

Aufgrund des steigenden Fahrgastaufkommens und der Absicht, den Verkehr auf die Schiene zu verlagern, investieren sowohl Politik als auch Infrastruktur- und Verkehrsunternehmen in den Ausbau der Eisenbahn (ÖBB 2011, S.7–10). Der Ausbau betrifft neben den Strecken auch Schienenverkehrsknoten, die aus verkehrlicher Sicht eine wichtige Rolle einnehmen. Knoten in Verkehrsnetzen ermöglichen intermodale Transportketten durch Verbindung von Verkehrsflüssen verschiedener Verkehrsträger. Zusätzlich erfüllen Verkehrsknoten mehrere Funktionen wie Zugangs- bzw. Abgangsfunktion, Umsteigefunktion und Kombination von Verkehrsträgern (Kummer 2006, S.109).

Der Bahnhof Wien Hütteldorf stellt aufgrund seiner Lage einen bedeutenden Knoten in Wien dar. Abbildung 1.1 zeigt das Eisenbahnnetz in Wien und die Lage des Knoten Hütteldorfs (gelber Punkt). Hütteldorf liegt im Westen von Wien entlang der alten Weststrecke, die Wien mit St. Pölten verbindet. Zusätzlich beginnen drei Strecken in Hütteldorf. Die Strecke der Vorortelinie verläuft Richtung Norden bis nach Wien Handelskai. Die Strecke der Verbindungsbahn führt in den Süd-Osten Richtung Wien Hauptbahnhof und weiter in den Nord-Osten nach Aspern Nord. Die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf verläuft parallel zur Strecke Westbahnhof – Konten Wagram, verbindet den Knoten Hütteldorf mit Unter Purkersdorf und dient primär als Strecke für den Nahverkehr im Westen von Wien. Der Knoten Hütteldorf erfüllt nicht nur eine Zugangs- bzw. Abgangsfunktion für Reisende mit dem Ausgangspunkt oder Ziel in Hütteldorf, sondern stellt auch einen wichtigen Umsteigebahnhof für Pendler dar. Angesichts seiner Lage im Netz des Schienenpersonennahverkehrs (SPNV) bietet sich Hütteldorf an, durch Verbesserungen im Betrieb und Ausbau von Zugverbindungen ein verbessertes Angebot für Zugreisende anzubieten und somit Potenziale der Bahn, vor allem für Pendler, auszuschöpfen. (Brezina et al. 2015, S.1–2) Abbildung 1.2 und 1.3 zeigen Ausschnitte aus dem Wiener Eisenbahnnetz mit den Verläufen der Strecke Westbahnhof – Konten

Wagram, des Lainzertunnels, der Strecke der Verbindungsbahn und der Strecke der Vorortelinie östlich und westlich vom Knoten Hütteldorf.

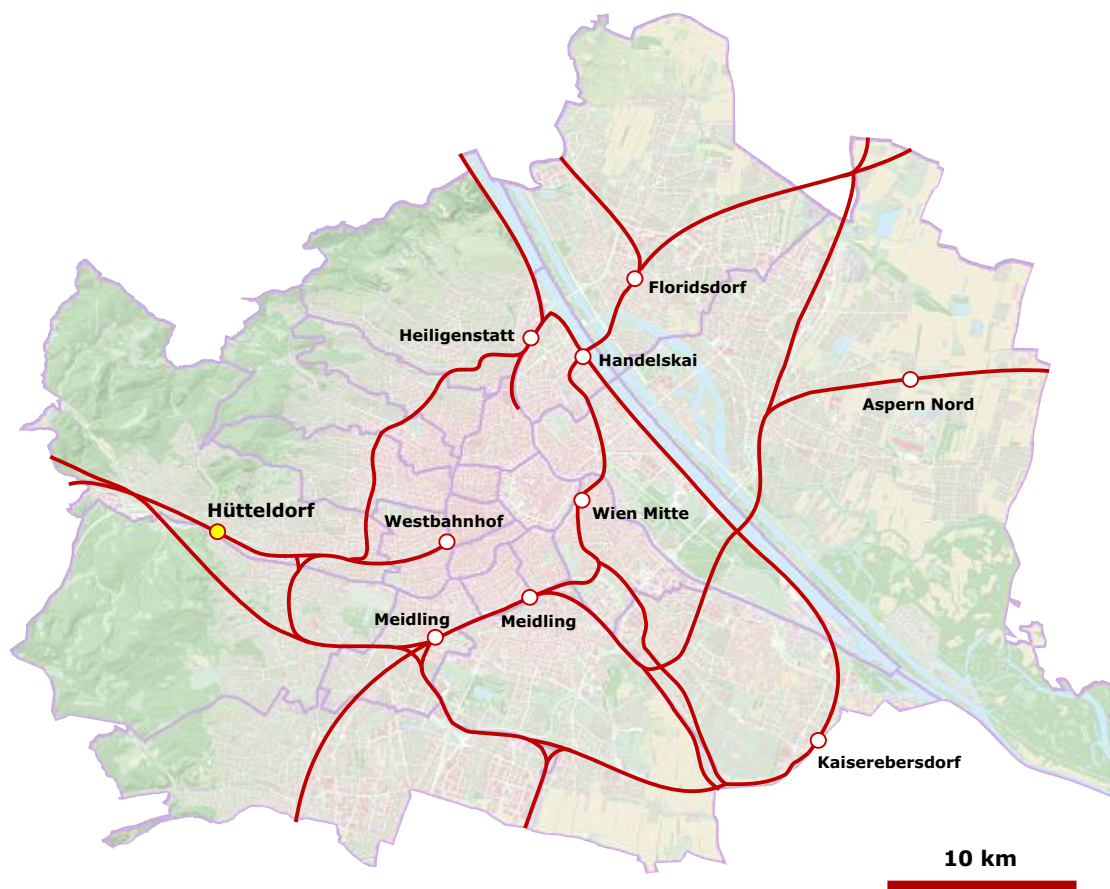


Abb. 1.1: Eisenbahnnetz in Wien (Stadt Wien - ViennaGIS 2020)

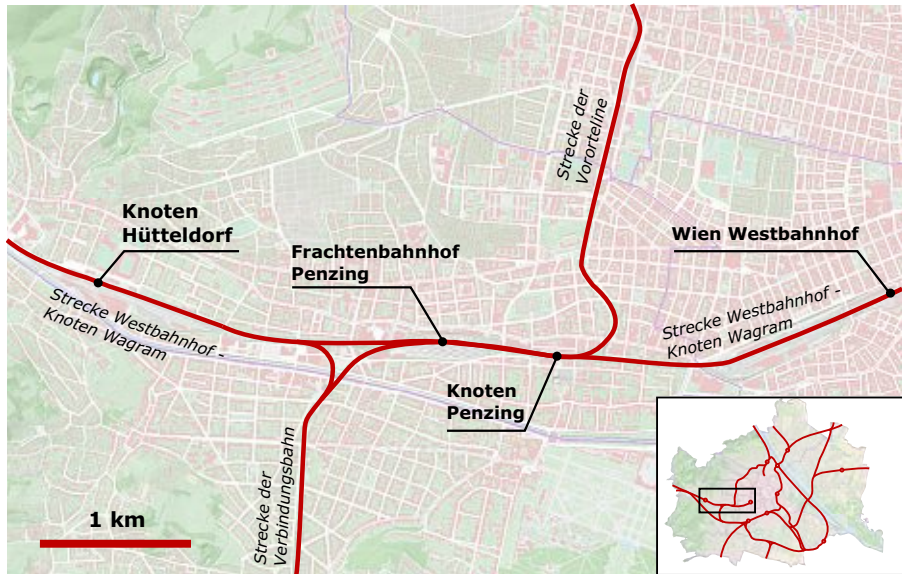


Abb. 1.2: Ausschnitt des Eisenbahnnetzes in Wien östlich von Hütteldorf (Stadt Wien - ViennaGIS 2020)



Abb. 1.3: Ausschnitt des Eisenbahnnetzes in Wien westlich von Hütteldorf (Stadt Wien - ViennaGIS 2020)

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Gegenstand der Diplomarbeit ist die Analyse und Erarbeitung eines Infrastruktur- und Betriebskonzeptes am Beispiel des Bahnhofs Hütteldorf. Im Zuge dieser Arbeit werden folgende Fragen bearbeitet:

- Wie werden Bahnhöfe und Knoten hinsichtlich ihrer Aufgaben und Funktionen klassifiziert? Welche Aufgaben und Funktionen erfüllt der Knoten Hütteldorf?
- Welche Kennwerte können herangezogen werden, um das Betriebsprogramm und den infrastrukturellen Umfang eines Schienenverkehrsknoten zu beschreiben?
- Welche betrieblichen Maßnahmen können zur Verbesserung des Bahnverkehrs und Erhöhung des Verkehrsangebots gesetzt werden?
- Welche infrastrukturellen Änderungen sind vorzusehen, um die betrieblichen Maßnahmen umsetzen zu können?

Ziel dieser Arbeit ist neben der Beantwortung der oben angeführten Fragen ein allgemeines Verständnis zur Analyse von Schienenverkehrsknoten zu vermitteln und eine praktische Anwendung der Analyse aufzuzeigen.

1.3 Methoden

Zunächst wird die Fachliteratur zur Beschreibung von Eisenbahnknoten herangezogen. Im Fokus der Literaturrecherche steht die Ermittlung wesentlicher Aufgaben und Funktionen, die ein Schienenverkehrsknoten, abhängig von seiner Größe und seiner Bedeutung im Bahnnetz, aus verkehrlicher und betrieblicher Sicht zu erfüllen hat. Dabei werden Kennwerte und Analysewerkzeuge gesucht und definiert, die diese Aufgaben und Funktionen von Eisenbahnknoten beschreiben. Zusätzlich dienen die Kennwerte und Untersuchungswerkzeuge dazu, auf einfache und übersichtliche Weise Größe, Umfang und Bedeutung im Eisenbahnnetz des Schienenverkehrsknoten zu bestimmen. Dies ermöglicht, die charakteristischen Eigenschaften des Knotens zu verstehen. Die Anwendung dieser Kennwerte und Analysewerkzeuge auf andere Eisenbahnknoten ermöglicht es, Knoten auch untereinander zu vergleichen.

Anschließend wird für Hütteldorf ein Infrastruktur- und Betriebskonzept erarbeitet. Im Zuge der Erarbeitung werden Randbedingungen und Anforderungen definiert, die das Konzept bestmöglich erfüllen soll. Die Anforderungen an den neuen Knoten beinhalten u.a. das Ziel, das Verkehrsangebot für den Fahrgast zu verbessern. Die Ergebnisse des erarbeiteten Betriebs- und Infrastrukturkonzepts werden mithilfe übersichtlicher Darstellungsformen veranschaulicht. Im Anschluss wird der neue Knoten mithilfe der zuvor beschriebenen Kennwerte und Bewertungswerkzeuge untersucht. Abschließend werden die Ergebnisse aus der Untersuchung des bestehenden Knotens in Hütteldorf mit den Ergebnissen aus der Untersuchung des neu erarbeiteten Knotens verglichen und gegenübergestellt.

Kapitel 2

Analyse von Eisenbahnknoten

In diesem Kapitel wird eine allgemeine Vorgehensweise zur Analyse von Eisenbahnknoten aufgezeigt. Eine strukturierte Analyse dient dazu, einen Knoten und seine Typisierung zu verstehen. Analysewerkzeuge in Form von infrastrukturellen, verkehrlichen und betrieblichen Kennwerten sollen dabei einen Überblick geben und eine grobe Einschätzung von Knoten erlauben.

Die Begriffe „Bahnhof“ und „Knoten“ werden oft als Synonyme füreinander verwendet, jedoch unterscheiden sich deren Herleitungen. Auch wenn die Ansätze zur Herleitung der beiden Begriffe verschieden sind, existiert keine strikte Grenze zwischen den beiden Begriffen. Demnach kann eine Bahnanlage die Eigenschaften beider Definitionen erfüllen. Die Begriffe „Bahnhof“ und „Knoten“ schließen sich nicht gegenseitig aus.

In diesem Kapitel werden Definitionen beider Begriffe angeführt und erklärt. Mithilfe der Definitionen werden die Aufgaben und Funktionen von Knoten und Bahnhöfen erläutert. Zusätzlich wird Analysewerkzeug zur Untersuchung von Bahnhöfen und Knoten vorgestellt.

2.1 Vorgehensweise

Ein Eisenbahnnetz kann in zwei Elemente unterteilt werden: in Strecken und in Knoten. Strecken erstrecken sich in eine Richtung. Aufgrund dieser eindimensionalen Ausführung ist, im Gegensatz zu Knoten, eine einfache Klassifizierung von Strecken möglich.

Knoten bestehen aus mehreren Gleisen, die nebeneinander angeordnet (zweidimensionale Ausdehnung) oder miteinander verbunden sind. Zusätzlich besitzen Knoten aufgrund ihrer eigenen Gleis- und Weichenanordnungen individuelle Strukturen und nehmen unterschiedliche Ausmaße hinsichtlich ihrer Größe an. Deshalb erweist sich die Kategorisierung von Knoten als komplexer. (Fengler und Böttcher 2007)

Aus diesem Grund empfehlen Fengler und Böttcher (2007, S.526–532) eine strukturierte Vorgehensweise bei der Untersuchung von Knoten. Die Grundstruktur der Bearbeitung wird in folgende Schritte unterteilt:

- Motivation und Zielsetzung
- Bestandsaufnahme
- Analyse des bestehenden Knotens
- Optimierung von Infrastruktur und/oder Betriebsprogramm
- Zusammenfassung der Ergebnisse

2.1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Motivation für eine Durchführung einer Knotenuntersuchung ist vielfältig und unterscheidet sich von Knoten zu Knoten. Gründe können Änderungen in den baulichen, infrastrukturellen, verkehrlichen oder betrieblichen Anforderungen sein.

Bei der Zielsetzung unterscheiden Fengler und Böttcher (2007) zwischen zwei Ebenen: übergeordnete und untergeordnete Ziele. Zu den übergeordneten Zielen zählen jene Vorhaben, die politischer oder unternehmerischer Natur sind, wie die Attraktivierung der Bahn oder der Ausbau von umweltfreundlichen Verkehrsnetzen.

Untergeordnete Ziele leiten sich von den übergeordneten Zielen ab und beinhalten beispielsweise Kapazitätserhöhung, Erhöhung der Pünktlichkeit oder Verringerung von Kosten.

2.1.2 Bestandsaufnahme

Die Bestandsaufnahme bildet die Grundlage für die Untersuchung eines Knotens. Pläne und schematische Darstellungen von Knoten bilden dabei einen wichtigen Teil der Bestandsaufnahme. Gleisschemata und Pläne sind dabei auf ihre Vollständigkeit zu prüfen: Darstellung aller Gleise, Weichen, Bahnsteige, Hauptsignale und eventuell auch Ladestellen des Knotens. Zusätzlich sind Unterlagen und Daten zu der Lage des Knotens im Bahnnetz, den anschließenden Strecken und Beschreibungen der benachbarten Knoten zu sammeln.

Neben infrastrukturellen Daten sind nach Bedarf und Zielsetzung auch betriebliche Daten wie Fahrpläne und die im Knoten verkehrende Zugarten zu sammeln. (Fengler und Böttcher 2007)

Die Sammlung von Daten reicht vom Bezug der Unterlagen direkt von Eisenbahninfrastrukturunternehmen und Eisenbahnverkehrsunternehmen bis hin zur persönlichen Begehung und Beobachtung vor Ort.

2.1.3 Analyse

Nach der Bestandsaufnahme folgt die Untersuchung von Knoten. Ziel der Analyse ist es, den Aufbau und die Funktion des Knotens zu identifizieren und Gegensätze zwischen vorhandener Infrastruktur und ihrer Nutzung zu erkennen. Dabei ist die Bearbeitungstiefe der Untersuchung von der Aufgabenstellung und den zuvor gesetzten Zielen abhängig. Je spezifischer die Aufgabenstellungen und die Ziele sind, desto detaillierter ist die Untersuchung.

Aufgrund der gegebenen Infrastruktur in einem Knoten ergeben sich theoretisch mehrere Kombinationen der Fahrbeziehungen bzw. -relationen. Je nach Ausstattung der Anlagen können bestimmte Fahrrelationen mehr betriebliche Schwierigkeiten oder Konflikte mit sich bringen als andere. Aufgabe einer Knotenanalyse ist die Gegenüberstellung der Möglichkeiten an Fahrbeziehungen, die die Infrastruktur bietet, mit den Ansprüchen des Betriebsprogramms, die an den Knoten gestellt werden. (Fengler und Böttcher 2007)

Fengler und Böttcher (2007) beschreiben mehrere Ebenen der Knotenanalyse:

- Analyse der Infrastruktur - Infrastrukturpotenzialanalyse
- Analyse des Betriebs - Fahrtenanalyse
- Analyse der verkehrlichen Bedingungen - verkehrliche Analyse
- Analyse der Grundausrüstung des Knotens - funktionale Analyse

Infrastrukturpotenzialanalyse

Ein Teil der Knotenanalyse ist die Infrastrukturpotenzialanalyse. Sie beinhaltet die Untersuchung der Potenziale der Infrastruktur. Der Betrieb wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht miteinbezogen und in einer separaten Analyse betrachtet. Ziel der isolierten Betrachtung der Infrastruktur ist es, die Streckenführung im Knoten und das vorhandene Angebot der Infrastruktur zu erfassen. Nach getrennter Untersuchung der Infrastruktur und des Betriebs wird die Eisenbahninfrastruktur gemeinsam mit dem Betriebsprogramm betrachtet und verglichen. Die gemeinsame Betrachtung von Betrieb und Infrastruktur dient zur Untersuchung, ob das vorhandene Angebot mit der gegenwärtigen oder der angenommenen Nachfrage in der Zukunft vereinbar ist. (Fengler und Böttcher 2007)

Fengler und Böttcher (2007) unterteilen die Infrastrukturpotenzialanalyse in zwei Teile: den topologischen und den funktionalen Teil.

Der *topologische Teil* dient zur Erhöhung der Übersichtlichkeit von großen und komplexen Knoten. Ziel ist die Erstellung einer überschaubaren Grafik der Infrastruktur durch Hervorhebung der Streckengleise, Zusammenfassung der Gleisgruppen und Markierung ihrer Nutzungsmöglichkeiten. Gleisgruppen werden jenen Streckengleisen zugeordnet, von denen die Gleisgruppen erreicht werden, ohne andere Streckengleise zu kreuzen.

Im *funktionalen Teil* der Infrastrukturanalyse werden die fundamentalen Funktionen und Aufgaben des Knotens bzw. des Bahnhofs identifiziert.

Fahrtenanalyse

Neben der Analyse der Infrastruktur erfolgt die betriebliche Untersuchung des Knotens in Form der Fahrtenanalyse. Im Rahmen dieser Analyse werden die aktuellen und die zukünftigen Zugzahlen, die für einen festgelegten Zeithorizont geplant sind, abgebildet. Die Fahrtenanalyse stellt demnach die Nachfrage des Betriebs an die Infrastruktur dar. Mithilfe geeigneter graphischer Darstellungen können die Zugzahlen je Fahrbeziehung übersichtlich dokumentiert werden. (Fengler und Böttcher 2007)

Verkehrliche Analyse

Ein weiterer Teil der Knotenanalyse ist die verkehrliche Analyse. Im Zuge dieser Untersuchung wird die verkehrliche Bedeutung des Knotens herausgearbeitet. Sie beinhaltet die Darstellung von Verkehrsströmen aus Quell-Ziel-Beziehungen der Fahrgäste, die Beschreibung von Umsteigebeziehungen und die Bestimmung der Reiseziele der Verkehrsteilnehmer. Aus diesen Informationen können Schlüsse zur Nachfrage der Reisenden gezogen werden. (Fengler und Böttcher 2007)

Funktionale Analyse

Ziel dieser Analyse ist es, eventuelle Widersprüche zwischen dem Angebot der Infrastruktur des Knotens und den Anforderungen des Betriebsprogramms an die Infrastruktur aufzuzeigen. Die Grundlage für diese Untersuchung bilden die zuvor durchgeführte Infrastrukturpotenzialanalyse und die Fahrtenanalyse. Die Ergebnisse dieser beiden Analysen werden gegenübergestellt und die Durchführbarkeit des aktuellen oder zukünftigen Betriebsprogramms auf der vorhandenen Infrastruktur untersucht. (Fengler und Böttcher 2007)

2.1.4 Optimierung

Nach der Analyse des Knotens erfolgt die Ausarbeitung von Optimierungsmaßnahmen. Dabei werden Verbesserungsvorschläge für Defizite, die sich im Zuge der Knotenanalyse ergeben haben, erarbeitet. Abhängig von den Gründen für die Durchführung einer Knotenanalyse und den gesetzten Zielen können die Optimierungsmaßnahmen von minimalen Änderungen im Betriebsprogramm bis hin zu umfangreichen Umbauarbeiten der Bahnanlagen variieren. Die in der Analyse gesammelten Ergebnisse dienen als Grundlage für die Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen des Knotens. (Fengler und Böttcher 2007)

2.1.5 Zusammenfassung

Im letzten Schritt der Knotenanalyse werden alle Ergebnisse und Erkenntnisse zusammengefasst. Je nach Umfang und Detaillierungsgrad der Untersuchung kann der zusammenfassende Bericht neben Ausführungen zu den Ergebnissen auch einfache erklärende Grafiken oder umfangreiche Pläne und Simulationsunterlagen beinhalten.

2.2 Beschreibung und Aufbau von Bahnhöfen

In diesem Kapitel wird der Begriff „Bahnhof“ erklärt und verschiedene Arten von Bahnhöfen beschrieben. Anschließend folgt die Definition von Knoten und die Beschreibung ihrer Funktionen. Anhand der Definitionen werden Unterschiede bzw. Ähnlichkeiten zwischen dem Bahnhof- und dem Knotenbegriff betrachtet und diskutiert.

2.2.1 Definition Bahnhof

Abhängig von der Betrachtungsweise kommt dem Begriff „Bahnhof“ verschiedene Bedeutungen zu. Beispielsweise versteht ein Architekt unter einem Bahnhof nur das Aufnahmegebäude, während für einen Eisenbahningenieur dieser Begriff zusätzlich die Bahnsteige, Gleisanlagen und sonstige Elemente, die für den Bahnbetrieb notwendig sind, enthält. Aus diesem Grund ist es wichtig zu wissen, aus welchem Standpunkt heraus die Definition gegeben wird.

Die Betriebsvorschrift der Österreichische Bundesbahnen (ÖBB) definiert Bahnhöfe als „Betriebsstellen, in denen Züge beginnen, enden oder einander ausweichen können. Bahnhöfe werden von Einfahrsignalen oder Trapeztafeln beschränkt“ (ÖBB 1997, § 2 Abs. 1a S. 1–2).

Laut Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) handelt es sich bei Bahnhöfen um „Bahnanlagen mit mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen.“ (EBO 1967, § 4 Abs. 2) Um Bahnhöfe von der freien Strecke

abzugrenzen, werden Einfahrtsignale, Trapeztafeln oder Einfahrweichen verwendet. (EBO 1967, § 4 Abs. 2)

Sowohl die ÖBB-Betriebsvorschrift als auch die der EBO geben eine ähnliche Definition aus eisenbahntechnischer Sicht. Beide Definitionen enthalten infrastrukturelle Elemente (Trapeztafel, Einfahrtsignal, Einfahrweiche) sowie betriebliche Elemente (Beginnen, Enden etc. von Zügen) jedoch treffen sie keine Aussagen über die verkehrlichen Aufgaben von Bahnhöfen.

Menius und Matthews (2017, S.39) übernehmen die Definition der EBO. Zusätzlich fügen sie der Definition eine verkehrswirtschaftliche Ebene hinzu und beschreiben Bahnhöfe als Schnittstellen zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen und Kunden. Unter „Kunden“ sind sowohl Reisende als auch Versender bzw. Empfänger von Gütern zu verstehen.

2.2.2 Klassifizierung von Bahnhöfen

Bahnhöfe können aufgrund ihrer vielfältigen Aufgaben auf vielfältige Weisen unterschieden werden (Weigand et al. 2008, S.360):

- Einteilung nach verkehrlichen Aufgaben
 - Personenbahnhof
 - Güterbahnhof
 - kombinierte Formen
- Einteilung nach betrieblichen Aufgaben
 - Zugbildungsanlagen des Personenverkehrs
 - Zugbildungsanlagen des Güterverkehrs
- Einteilung nach ihrer Schnittstellenfunktion zu einem anderen Verkehrsträger
 - Flughafenbahnhof
 - Hafenbahnhof
- Einteilung nach ihrer Lage im Streckennetz
 - Endbahnhof (in Kopfform, in Durchgangsform)
 - Zwischenbahnhof
- Einteilung nach ihrer Art der Streckenverknüpfung
 - Kopfbahnhof
 - Durchgangsbahnhof
 - Anschlussbahnhof
 - Trennungsbahnhof
 - Kreuzungsbahnhof (in Turmlage, in Parallellage)
 - Berührungsbahnhof

In Abbildung 2.1 sind verschiedene Bahnhöfe nach ihrer Lage im Netz und Grundrissform dargestellt. Hinsichtlich ihrer Lage im Netz ist zwischen End- und Zwischenbahnhöfen zu unterscheiden. Befindet sich ein Bahnhof am Ende einer Strecke und folgt kein weiterer

Bahnhof, so ist von einem Endbahnhof die Rede. Ein Bahnhof entlang einer Strecke, bei dem in beiden Richtungen ein weiterer Bahnhof angeordnet ist, ist ein Zwischenbahnhof.

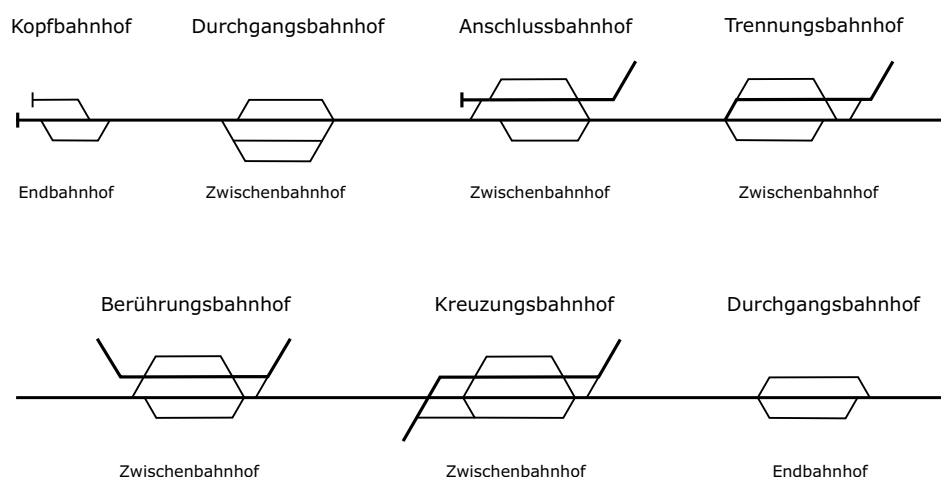


Abb. 2.1: Einteilung von Bahnhöfen nach ihrer Lage und Art der Streckenverknüpfung (Weigand et al. 2008, S.360)

Folgend werden Bahnhöfe hinsichtlich ihrer Art der Streckenverknüpfung erklärt.

Kopfbahnhöfe sind Endbahnhöfe, in denen alle einmündenden Gleise enden. Züge können nur an einer Seite hinein- und hinausfahren, wobei diese im Bahnhof die Fahrtrichtung wechseln müssen. Fährt ein Zug in einen Kopfbahnhof ein, so muss er einen Wendehalt einlegen, damit dieser wieder aus dem Bahnhof hinausfahren kann. (Weigand et al. 2008, S.360)

Durchgangsbahnhöfe sind Zwischenbahnhöfe, die an einer durchgehenden Bahnstrecke liegen und durch die die Streckengleise führen. (Weigand et al. 2008, S.360)

Anschlussbahnhöfe sind Bahnhöfe, die an einer durchgehenden Strecke liegen und gleichzeitig Anfangs- und Endpunkt von anschließenden, untergeordneten Strecken sind. Zugfahrten gehen nicht oder nur gegebenenfalls von der durchgehenden Strecke auf die Anschlussstrecke über oder umgekehrt. Anschlussbahnhöfe stellen in der Regel für die Zugfahrten der anschließenden Strecken betriebliche Endbahnhöfe dar. (Weigand et al. 2008, S.361)

Trennungsbahnhöfe ähneln sich in ihrer Infrastruktur den Anschlussbahnhöfen. Im Unterschied zu den Anschlussbahnhöfen finden in Trennungsbahnhöfen regelmäßig Zugübergänge zwischen den Strecken statt, die zu einer erhöhten Verflechtung im Betrieb führen. (Bendfeldt 2004, S.9)

Berührungsbahnhöfe stellen Bahnhöfe dar, in denen sich zwei durchgehende Strecken berühren, ohne dass sich ihre Gleise kreuzen. Streckenwechsel von Zügen können gegebenenfalls stattfinden. (Bendfeldt 2004, S.9)

Kreuzungsbahnhöfe sind Zwischenbahnhöfe, in denen sich zwei Strecken kreuzen und Zugfahrten von einer Strecke auf die andere Strecke übergehen. Die Kreuzung der

Strecken kann höhenfrei oder höhengleich ausgeführt werden. Höhengleiche Kreuzungen sind Kreuzungen, bei denen sich die Infrastruktur einer oder mehrere Strecken auf gleichem Höhenniveau kreuzt. Bei höhenfreien Kreuzungen wird die Infrastruktur einer Strecke mittels eines Überwerfungsbauwerk oder eines Tunnel auf einem anderen Niveau oberhalb oder unterhalb der anderen Strecken geführt. Höhengleiche Kreuzungen stellen in der Regel größere Herausforderungen an den Betrieb dar. (Bendfeldt 2004, S.9)

2.3 Beschreibung und Aufbau von Knoten

2.3.1 Definition Knoten

Laut Kummer (2006, S.109) sind Verkehrsknoten jene Orte in einem Verkehrssystem, in denen Verkehrsflüsse unterschiedlicher Verkehrsträger verbunden werden. Neben dieser allgemeinen verkehrswirtschaftlichen Definition beschreibt Kummer (2006, S.111) verschiedene Unterscheidungsmerkmale von Knoten.

Je nach Vorhandensein eines dominanten Verkehrsträgers in einem Knoten differenziert er zwischen verkehrsträgerspezifischen und verkehrsträgerübergreifenden Knoten. Ein Beispiel für verkehrsträgerspezifische Knoten sind Bahnhöfe, da in denen die Züge als Verkehrsträger dominieren. Güterverkehrszentren, zu denen mehrere verschiedene Verkehrsträger Zugang haben, sind verkehrsträgerübergreifende Knoten, da kein Verkehrsträger dominiert.

Zusätzlich unterscheidet Kummer (2006, S.111) zwischen multimodalen und unimodalen Knoten. Im Unterschied zu unimodalen Knoten ist der Wechsel von Verkehrsträgern bei multimodalen Knoten möglich. Somit sind nach dieser Definition Personenbahnhöfe strikt genommen multimodale Knoten, da diese im Regelfall den Umstieg von anderen Verkehrsträgern wie z.B. Auto oder Bus auf die Bahn erlauben. Ein Beispiel für einen unimodalen Knoten ist ein Verschiebebahnhof, in dem die Güter das System Bahn nicht verlassen und nicht den Verkehrsträger wechseln.

Die Definition von Knoten ist bei Pachl (2018, S.168) und Freystein et al. (2008, S.168) sehr ähnlich. Gemäß dieser Definitionen handelt es sich bei einem Knoten um jene Stellen in einem Netz, in denen sich mehrere Strecken kreuzen bzw. verknüpft sind unter Vorhandensein von dafür notwendigen betrieblichen Einrichtungen.

Bendfeldt (2004, S.33–34) erweitert die Definition des Knotenbegriffs. Er bezeichnet die infrastrukturelle sowie betriebliche Verknüpfung als jene Attribute, die einen Knoten ausmachen. Die infrastrukturelle Verknüpfung umfasst all jene baulichen Elemente, die den Übergang von einer Strecke auf andere Strecken ermöglichen. Unter dem Begriff der betrieblichen Verknüpfung ist der tatsächliche Zugübergang von einer Strecke auf eine andere Strecke zu verstehen. Ob eine betriebliche Verknüpfung vorliegt, ist vom Fahrplan abhängig. Das zwingende Kriterium ist das Vorhandensein einer infrastrukturellen Verknüpfung, da ohne diese keine betriebliche Verknüpfung möglich ist.

In den unterschiedlichen Definitionen des Knotenbegriffs dominiert das Element der Streckenverknüpfung, wobei indirekt damit Anforderungen an die Infrastruktur verbunden sind (Pachl 2018, Freystein et al. 2008 und Bendfeldt 2004). Selbst bei der Definition von Kummer (2006), die Knoten aus verkehrlicher Sicht beschreibt, spielt die Infrastruktur eine wichtige Rolle, da ohne diese die beschriebenen Verkehrsflüsse nicht verbunden werden können. Im Vergleich dazu enthält die Definition des Bahnhofbegriffes (Kapitel 2.2.1) ebenfalls das Element der Infrastruktur. Zum einen enthält die Definition die

explizite Vorgabe, dass Bahnhöfe aus mindestens einer Weiche bestehen (EBO 1967). Zum anderen impliziert die Definition des Bahnhofbegriffes, dass die Infrastruktur so ausgelegt sein muss, um das Beginnen, Enden, Ausweichen oder Wenden von Zügen zu ermöglichen (EBO 1967; ÖBB 1997).

Obwohl die Definitionen des Bahnhofs und des Knotens auf verschiedene Aspekte des Eisenbahnwesens, wie Infrastruktur und Betrieb oder Infrastruktur und Verkehr, abzielen, gibt es keine eindeutige Grenze zwischen dem Knoten- und Bahnhofbegriff. Die Begriffe überlappen sich und schließen sich gegenseitig nicht aus. Beispielsweise kann ein Bahnhof, also eine „Bahnanlage mit mindestens einer Weiche, wo Züge beginnen, enden, ausweichen oder wenden dürfen“ (EBO 1967), gleichzeitig ein Knoten sein, wo sich mehrere Strecken kreuzen (Pachl 2018).

Im Fall von Hütteldorf handelt es sich sowohl um einen Bahnhof als auch um einen Knoten, da dieser alle Eigenschaften beider Definitionen erfüllt. Im Zuge dieser Arbeit werden die Begriffe „Bahnhof Hütteldorf“ und „Knoten Hütteldorf“ als gleichbedeutend verwendet und es ist damit Hütteldorf als Gesamtheit der Bahnanlagen gemeint.

2.3.2 Typisierung von Knoten

Laut Bendfeldt (2004, S.36–38) können Knoten nach ihrer Streckenanordnung differenziert und typisiert werden. Die Typisierung erfolgt durch Herausschneiden des Knotens aus dem Netz. An den Schnittstellen wird die Anzahl der Streckenäste ermittelt, wobei zwischen eingleisigen und zweigleisigen Strecken unterschieden wird. Die Typenbezeichnung wird als Summe der eingleisigen Strecken und als Summe der zweigleisigen Strecken angegeben. Die Betrachtungsebene der Typisierung kann vom Knoten zu den Bahnhofsköpfen verlegt werden. Dabei wird der gesamte Knoten in seine Bahnhofsköpfe unterteilt und dort die Anzahl der Streckenäste erfasst.

In Abbildung 2.2 ist eine beispielhafte Typisierung eines Knotens dargestellt.

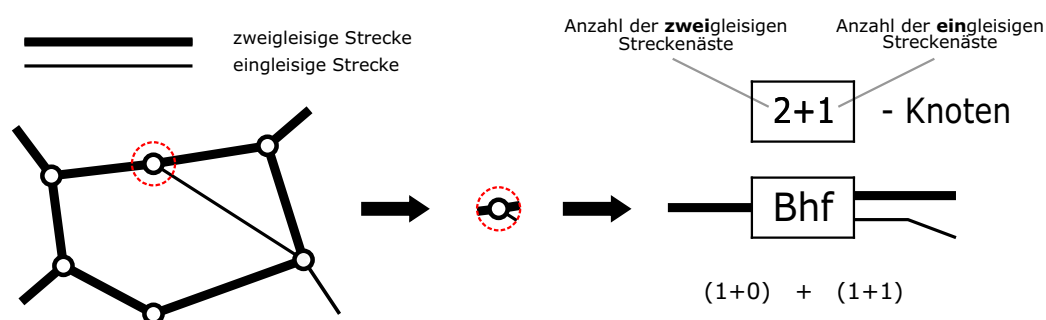


Abb. 2.2: Typisierung von Knoten (Bendfeldt 2004, S.36)

In der Tabelle 2.1 sind Kombinationen ein- und zweigleisiger Strecken aufgelistet. Die grau gekennzeichneten Typenbezeichnungen stellen formal keine Knoten dar, da aufgrund der geringen Streckenanzahl keine Streckenverknüpfung vorliegen kann. Bei den Typen (0+1) und (1+0) handelt es sich um Endbahnhöfe und bei den Typen (0+2) und (2+0) um Zwischenbahnhöfe an einer ein- bzw. zweigleisigen Strecke.

Die fettgedruckten Typenbezeichnungen stellen die sogenannten *Elementarknoten* dar. Bendfeldt (2004) definiert den Begriff des „Elementarknotens“ als Knoten kleinster Ordnung, der das Mindestkriterium der Verknüpfung von 3 Streckenästen erfüllt. Bei

Tab. 2.1: Kombinationen von Typenbezeichnungen (Bendfeldt 2004, S.37)

		Anzahl der eingleisigen Streckenäste					
		0	1	2	3	4	>4
Anzahl zweigleisigen Streckenäste	0	(0+0)	(0+1)	(0+2)	(0+3)	(0+4)	(0+>4)
	1	(1+0)	(1+1)	(1+2)	(1+3)	(1+4)	(1+>4)
	2	(2+0)	(2+1)	(2+2)	(2+3)	(2+4)	(2+>4)
	3	(3+0)	(3+1)	(3+2)	(3+3)	(3+4)	(3+>4)
	4	(4+0)	(4+1)	(4+2)	(4+3)	(4+4)	(4+>4)
	>4	(>4+0)	(>4+1)	(>4+2)	(>4+3)	(>4+4)	(>4+>4)

Gegenüberstellung der Knotentypisierung und der Bahnhofsklassifizierung nach ihrer Art der Streckenverknüpfung widerspiegeln die Knoten vom Typ (0+3), (3+0), (1+2) und (2+1) Anschluss- und Trennungsbahnhöfe. Die Knoten vom Typ (0+4), (4+0) und (2+2) stellen Kreuzungs- und Berührungsbahnhöfe dar.

Die verbleibenden Typenbezeichnungen in der Tabelle repräsentieren höherwertige Knoten. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus Elementarknoten zusammengesetzt sind.

2.3.3 Knotenkennwerte

Bendfeldt (2004, S.45–50) listet eine Reihe an Knotenkennwerten auf, die die Infrastruktur, den Betrieb oder die verkehrlichen Funktionen des Knotens beschreiben. Die Kennwerte dienen zum Vergleich mehrerer Knoten untereinander.

Infrastrukturelle Kennwerte

Die infrastrukturellen Kennwerte dienen dazu, die Knoten anhand der vorliegenden Infrastruktur zu beschreiben. Diese Kennwerte geben einen Überblick und erlauben eine grobe Einschätzung des Umfangs der Infrastruktur.

Der **Kennwert Zulaufstrecken** gibt die Art (ein- oder zweigleisig) und die Anzahl der an den Knoten anschließenden Strecken an. Dieser Kennwert entspricht der im Kapitel 2.3.2 beschriebenen Typisierung von Knoten.

Die Anzahl und die Art der Zulaufstrecken geben einen Hinweis, wie groß der Umfang der Infrastruktur ist. Tendenziell gilt, je größer die Anzahl der zulaufenden Strecken und je mehr zweigleisige Strecken unter ihnen, desto größer ist der Knoten.

Der **Kennwert durchgehende Hauptgleise** gibt das Verhältnis der an den Knoten anschließenden Gleise zu der Anzahl der durchgehenden Hauptgleise im Knoten an. Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der durchgehenden Gleise nur kleiner oder gleich der Anzahl der zulaufenden Strecken sein kann.

Entspricht die Anzahl der Streckengleise der Anzahl der durchgehenden Hauptgleise, so werden alle Streckengleise unabhängig voneinander durch den Knoten geführt. Ist die Anzahl der durchgehenden Hauptgleise kleiner als die der Streckengleise, so liegt eine Vereinigung der Streckengleise im Knoten vor. In diesem Fall ist mit einer erhöhten betrieblichen Herausforderung zu rechnen.

Der **Kennwert Infrastruktureinheiten** umfasst die Gesamtzahl an Weichen und durchgehenden Hauptgleisen im Knoten. Dieser Kennwert dient zur Beschreibung der Größe des Knotens.

Der **Kennwert Verknüpfungsgrad** beschreibt die infrastrukturelle Verknüpfung im Knoten. Er gibt das Verhältnis zwischen der Gesamtzahl der vorhandenen einfachen Weichen und jener Anzahl an einfachen Weichen, die für eine vollkommene gegenseitige Verknüpfung aller durchgehenden Hauptgleise notwendig ist, an. Kreuzungsweichen sind dabei in einfache Weichen umzuformen. Zur Ermittlung des Verknüpfungsgrads dient die Gleichung (2.1).

$$n = \frac{\sum n_{W,vorh}}{\sum n_{W,i}} \quad (2.1)$$

n	...	Verknüpfungsgrad
$n_{W,vorh}$...	Gesamtanzahl der vorhandenen Weichen
$n_{W,i}$...	Anzahl der Weichen für die vollkommene Verknüpfung der durchgehenden Hauptgleise

In Abbildung 2.3 ist ein Beispiel zur Bestimmung des Verknüpfungsgrads eines Knotens gegeben. Die obere Darstellung in Abbildung 2.3 zeigt den Knoten in seiner ursprünglichen Form. Durch den Knoten verläuft eine zweigleisige Strecke und es enden zwei eingleisige Strecken. Für die Verknüpfung dieser Strecken stehen 12 Weichen zur Verfügung. Da jedoch die eingleisigen Strecken in Stumpfgleise enden und zwischen den durchgehenden Hauptgleisen der zweigleisigen Hauptstrecke bzw. zwischen der eingleisigen Nebenstrecke und der zweigleisigen Hauptstrecke Gleisverbindungen fehlen, liegt keine vollständige Verknüpfung vor. In der unteren Darstellung in Abbildung 2.3 ist der gleiche Knoten dargestellt, aber diesmal sind alle Strecken vollständig verknüpft. Zum Anschluss der Stumpfgleise an die durchgehenden Hauptgleise und zur Verbindung der Gleise der Hauptstrecke und der Nebenstrecke sind somit insgesamt sechs zusätzliche Weichen für eine vollständige Verknüpfung im Knoten notwendig. Demnach errechnet sich die erforderliche Anzahl an einfachen Weichen für eine vollständige Verknüpfung zu 18 Stück.

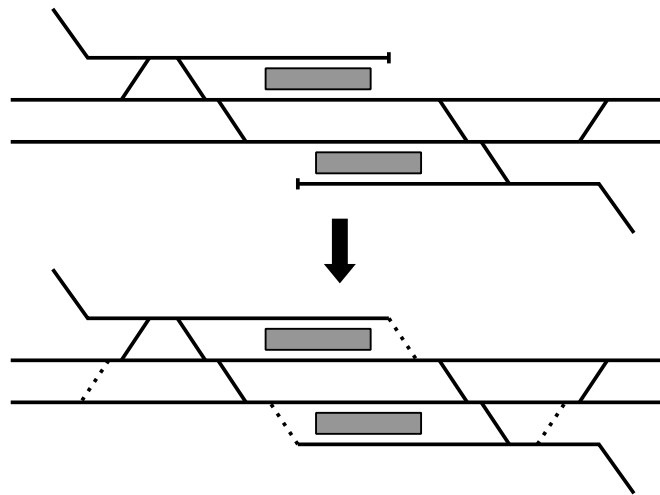


Abb. 2.3: Beispiel zur Bestimmung des Verknüpfungsgrads (Bendfeldt 2004, S.47)

Mit Hilfe des Kennwerts Verknüpfungsgrad kann das Ausmaß der Verflechtung der durchgehenden Hauptgleise bestimmt werden. Beträgt der Verknüpfungsgrad eins, so liegt eine vollständige Verknüpfung der Strecken vor. Bei einem Verknüpfungsgrad größer als eins ist ebenfalls eine vollständige Verknüpfung vorhanden, jedoch sind im Knoten mehr Weichen eingebaut, als für die vollständige Verknüpfung notwendig sind. Beträgt der Verknüpfungsgrad kleiner als eins, ist eine vollständige Verknüpfung im Knoten nicht gegeben.

Der Verknüpfungsgrad ist ein rein infrastruktureller Kennwert, der infrastrukturelle Eigenschaften eines Knotens beschreibt, aber keine Aussagen über die Notwendigkeit einer vollständigen Verknüpfung seitens des Betriebs macht.

Verkehrliche Kennwerte

Neben infrastrukturellen Kennwerten gibt es auch verkehrliche Kennwerte. Die verkehrlichen Kennwerte geben einen Überblick zu den verkehrlichen Verhältnissen in einem Knoten.

Der **Kennwert Verkehrsart** unterscheidet den Verkehr im Knoten zwischen Schienenpersonenfernverkehr (SPFV), Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und Schienengüterverkehr (SGV). Die Angabe erfolgt in absoluten Zahlen, relativ als Verhältnis der Anzahl der Zugfahrten einer Verkehrsart zur Gesamtzahl der Zugfahrten oder im Verhältnis aller Verkehrsarten zueinander.

Der **Kennwert Behandlung** ergänzt den Kennwert Verkehrsart. Dieser Kennwert erfasst, ob Züge im Knoten durchfahren oder einen Verkehrs- bzw. Betriebshalt einlegen. Je nach Behandlung der Zugfahrten werden bestimmte Ansprüche an die verkehrlichen Anlagen des Knotens gestellt.

Betriebliche Kennwerte

Im Gegensatz zu den infrastrukturellen und verkehrlichen Knoten beschreiben die betrieblichen Kennwerte die Merkmale des Betriebs im Knoten. Jedoch ist zu beachten, dass der Betrieb nicht isoliert von Infrastruktur und Verkehr betrachtet werden kann, da dieser im Zusammenhang mit den verkehrlichen Funktionen und der Infrastruktur des Knotens steht. Beispielsweise beeinflusst die gegebene Infrastruktur das Betriebsprogramm. Umgekehrt stellt ein angestrebtes Betriebsprogramm Anforderungen an die Infrastruktur.

Der **Kennwert Strecken- (und Richtungswechsel)** gibt an, wie viele Zugfahrten im Knoten von einer Strecke in eine andere übergehen. Der Wert kann entweder absolut oder als Anteil der Streckenwechsel an der Gesamtzahl der aufkommenden Fahrten angegeben werden. Dieser Kennwert dient zur Beschreibung des Zusammenspiels zwischen dem Betriebsprogramm und der Grundfunktion des Knotens. Die zusätzliche Angabe, wie viele Züge neben einem Streckenwechsel auch einen Richtungswechsel durchführen, ermöglicht eine bessere Einschätzung der Wechselwirkung zwischen Infrastruktur und Betrieb.

Der **Kongruenzfaktor K für Betriebsprogramm und Infrastruktur** dient zur Erweiterung des Kennwerts Streckenwechsel. Die Kongruenz errechnet sich als Verhältnis von der Anzahl an Fahrten ohne Streckenwechsel zur Gesamtanzahl der Fahrten im Knoten (siehe Gleichung (2.2)).

$$K = \frac{\sum N_{oSW}}{\sum N} \quad (2.2)$$

K	...	Kongruenzfaktor
N_{oSW}	...	Anzahl der Fahrten ohne Streckenwechsel
N	...	Gesamtanzahl der Fahrten im Knoten

Ein hoher Wert in der Kongruenz stellt eine hohe Übereinstimmung zwischen der Streckenanordnung und den vorhandenen Linienverläufen bzw. Verkehrsströmen im Knoten dar. Ein niedriger Kongruenzfaktor weist darauf hin, dass das Betriebsprogramm mit der Grundstruktur der Infrastruktur schlecht übereinstimmt.

An dieser Stelle wird ergänzend zu den Kennwerten von Bendfeldt zusätzlich der Kennwert der **Betriebsabwicklung** von Ostermann und Rollinger (2016, S.162) eingeführt. Der Kennwert Betriebsabwicklung unterscheidet, ob der vorliegende Knoten im Richtungs- oder Linienbetrieb befahren wird. Beim Richtungsbetrieb bedienen Züge verschiedener Linien, die in die gleiche Richtung fahren, denselben Bahnsteig. Im Fall des Linienbetriebs bedienen unabhängig ihrer Fahrtrichtung nur Züge gleicher Linien denselben Bahnsteig. Abbildung 2.4 führt ein Beispiel für Richtungsbetrieb und Abbildung 2.5 für Linienbetrieb an.

Die infrastrukturellen, verkehrlichen und betrieblichen Kennwerte dienen als überblicksartiges Analysewerkzeug und helfen, die grundlegenden Eigenschaften eines Knotens zu verstehen.

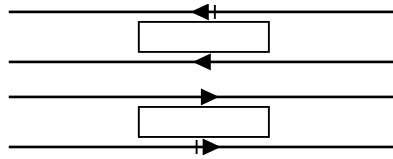


Abb. 2.4: Richtungsbetrieb (Ostermann und Rollinger 2016, S.162)

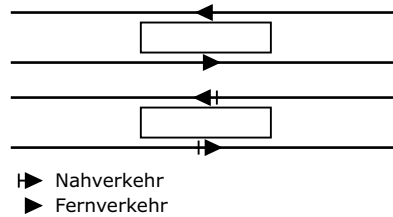


Abb. 2.5: Linienbetrieb (Ostermann und Rollinger 2016, S.162)

2.4 Untersuchung von Verkehrsströmen

Ziel dieser Arbeit ist es, neben der Analyse des Knotens Hütteldorfs auch verschiedene Varianten der Linienführung in Hütteldorf zu erarbeiten und dessen Auswirkungen auf Betrieb und Infrastruktur zu diskutieren. Um verschiedene Varianten der Linienführung untereinander vergleichen zu können, bedarf es neben den angeführten Knotenkennwerten eines zusätzlichen Werkzeugs, welches die Wechselwirkungen zwischen Betrieb und Infrastruktur beschreibt. Es existieren verschiedenste Methoden der Leistungsuntersuchung zur Beschreibung des Verhaltens zwischen Betrieb und Infrastruktur (Pachl 2018, S.145). An dieser Stelle wird eine einfache, aber effektive Methode zur Analyse von Verkehrsströmen angewendet.

Bendfeldt (2004, S.63–69) beschreibt in seiner Dissertation eine übersichtliche Methode zur Betrachtung von potenziellen Konfliktpunkten, hervorgerufen durch die Abwicklung eines gegebenen Betriebsprogramms auf einer vorhandenen Infrastruktur. Die Ergebnisse dieser Untersuchungsmethode ermöglichen es, einfache, aber maßgebende Aussagen zu betrieblich-infrastrukturellen Wechselbeziehungen zu treffen und verschiedene Varianten von Betriebskonzepten untereinander zu vergleichen.

2.4.1 Charakterisierung der Relationen von Verkehrsströmen

Vor der Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Betrieb und Infrastruktur ist es erforderlich, Verkehrsströme und deren unterschiedliche Konstellationen zueinander zu verstehen. Abbildung 2.6 zeigt die Grundformen der Relationen zwischen zwei Verkehrsströmen zueinander.

Bei dem Fall a handelt es sich um eine Ausfädelung zweier Verkehrsströme. Dabei treten beide Verkehrsströme an derselben Stelle in den Knoten ein bzw. befahren dieselben Gleise bei der Einfahrt. Im Knoten trennen sich die Verkehrsströme und verlassen den Knoten an unterschiedlichen Stellen.

Fall b zeigt eine Einfädelung. In diesem Fall dringen die Verkehrsströme an unterschiedlichen Stellen in den Knoten ein. Im Knoten werden beide Verkehrsströme vereinigt

und treten an einem gemeinsamen Querschnitt aus dem Knoten wieder aus. In der Regel verlaufen Verkehrsströme beim Ein- bzw. Ausfädeln in die gleiche Richtung.

Die Fälle c bis f zeigen sich kreuzende Verkehrsströme. Dabei kann die Kreuzung, wie in c und d dargestellt, punktuell erfolgen oder die Verkehrsströme benutzen einen begrenzten gemeinsamen Abschnitt, bevor sie sich wieder trennen. Fall g und h zeigen eine Sonderform der Kreuzung, bei dem sich die Verkehrsströme tangential an einem gemeinsamen Abschnitt berühren. In allen sechs Fällen der Kreuzung treten die Verkehrsströme an jeweils unterschiedlichen Stellen im Knoten ein bzw. aus.

Bei näherer Betrachtung der Fälle e bis h ist zu erkennen, dass sich die Vorgänge des Kreuzens von Verkehrsströmen aus einer Einfädelung und einer Ausfädelung zusammensetzen. (Bendfeldt 2004, S.63–64)

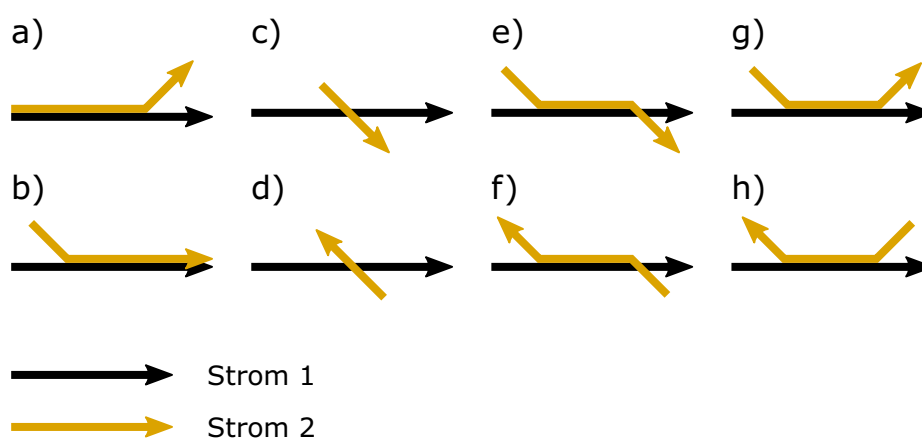


Abb. 2.6: Relationen von Verkehrsströmen zueinander (Bendfeldt 2004, S.63)

2.4.2 Verkehrsstromanalyse

Bendfeldt (2004) unterteilt die Betrachtung von Verkehrsströmen auf zwei Ebenen: in eine globale und in eine lokale Ebene. Auf beiden Ebenen werden potenzielle Konfliktpunkte an Verkehrsströmen bzw. in der Infrastruktur herausgearbeitet. Im Zuge dieser Arbeit wird das Prinzip der globalen und lokalen Betrachtungsmethode von Verkehrsströmen von Bendfeldt (2004) übernommen und für die Ansprüche dieser Arbeit weiterentwickelt.

Bei der Untersuchung der potenziellen Konfliktpunkte von Verkehrsströmen auf *globaler Ebene* spielt die Infrastruktur eine untergeordnete Rolle. Die Linienführung und die Zulaufstrecken des Knotens stellen dabei die Randbedingungen der Analyse dar. Bei einer Umgestaltung der zulaufenden Strecken oder einer Änderung des Betriebsprogramms verändern sich diese Rahmenbedingungen, welche wiederum andere potenzielle Konfliktpunkte hervorrufen.

Durch die globale Verkehrsstromanalyse gehen durch die fehlende Infrastruktur bestimmte Informationen verloren. Auf dieser Ebene der Analyse wird beispielsweise bei Kreuzungen nicht zwischen Fall c und e (bzw. d und f) aus Abbildung 2.6 unterschieden. Obwohl auf der globalen Ebene vorerst durch den fehlenden Einbezug der Infrastruktur bestimmte Informationen verloren gehen, erlaubt diese Methode eine ganzheitliche Bewertung des Knotens. Die durch diese umfassende Betrachtung gewonnenen Informationen

dienen als Grundlage für eine genauere Analyse der potenziellen Konfliktpunkte im nächsten Schritt. Weitere Untersuchungen der potenziellen Konfliktpunkte finden auf der lokalen Ebene unter Einbezug der Infrastruktur statt.

Abbildung 2.7 zeigt Beispiele der globalen Betrachtungsweise von potenziellen Konfliktpunkten in Knoten. Beispiel 1 zeigt die Verknüpfung zweier zweigleisigen Strecken, wobei der eine gelbe Verkehrsstrom aus dem schwarzen Strom ausfädelt und der andere gelbe Strom den einen schwarzen Strom kreuzt und anschließend in den anderen schwarzen Strom einfädelt. Beispiel 2 stellt je nach Betrachtung der Fahrtrichtung das Ein- bzw. Ausfädeln des gelben Verkehrsstroms dar. In Beispiel 3 kreuzt der gelbe Verkehrsstrom beide schwarzen Verkehrsströme. Wie bereits erwähnt, spielt bei der globalen Betrachtung die Infrastruktur eine untergeordnete Rolle. Beispielsweise ist in Beispiel 3 nicht eindeutig, um welche Art der Kreuzung es sich handelt. Auf der globalen Ebene wird nicht unterschieden, wie sich zwei Verkehrsströme kreuzen. Es wird nur gezeigt, ob sich die Verkehrsströme kreuzen. Abbildung 2.8 zeigt zwei Beispiele von Kreuzungen von Verkehrsströmen auf lokaler Ebene. In beiden Knoten der Abbildung 2.8 ist die Infrastruktur eingezeichnet. Die beiden Beispiele entsprechen dem Fall 3 aus Abbildung 2.7.

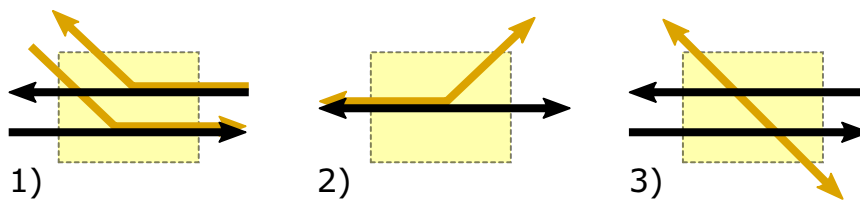


Abb. 2.7: Globale Betrachtung von Verkehrsströmen

Auf der *lokalen Ebene* wird die Infrastruktur einbezogen. In diesem Schritt wird die Gestalt der Infrastruktur bzw. die Betriebseinheiten im Knoten beurteilt. So können beispielsweise grobe Aussagen zur Anordnung von Bahnsteigen oder für die Streckenverknüpfung maßgebenden Gleisverbindungen getroffen werden. Der Vorteil dieser Betrachtungsebene ist, sie enthält mehr Informationen über die potenziellen Konfliktpunkte und deren Zusammenspiel zwischen Infrastruktur und Betrieb.

Abbildung 2.8 stellt auf lokaler Betrachtungsebene zwei mögliche Varianten an Verkehrsströmen im Knoten des Beispiels 3 aus Abbildung 2.7 dar. Es ist zu sehen, dass auch die Infrastruktur eingezeichnet ist. In beiden Knoten wird eine zweigleisige Strecke von einer eingleisigen Strecke gekreuzt (laut Weigand et al. (2008) handelt es sich um einen Kreuzungsbahnhof). Die beiden Fälle unterscheiden sich darin, wie die Strecken im Knoten miteinander verknüpft sind. Dementsprechend weichen die vorhandenen potenziellen Konfliktpunkte voneinander ab.

Abbildung 2.9 zeigt die gleichen Knoten wie in Abbildung 2.8, aber diesmal sind die potenziellen Konfliktpunkte markiert. In Knoten 1 müssen Züge zwischen C und D jeweils einmal einfädeln, ausfädeln und kreuzen. Beim Einfädeln in den A–B-Verkehrsstrom und beim Kreuzen des B–A-Verkehrsstroms ist ein betriebliches Zeitfenster vorzusehen, das groß genug ist, damit die zwischen C und D verkehrenden Züge in den Knoten einfahren und wieder ausfahren können, ohne den Verkehr zwischen A und B zu behindern. Der Vorgang des Ausfädelns stellt auf der Strecke, die verlassen wird, keinen potenziellen Konflikt dar. In Knoten 2 stellt sich ein ähnliche Situation dar. Die Verkehrsströme von

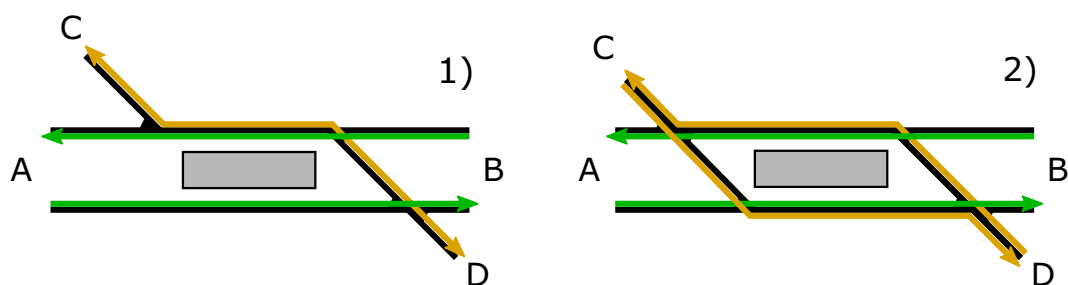


Abb. 2.8: Lokale Betrachtung von Verkehrsströmen und potenziellen Konfliktpunkten

C nach D bzw. von D nach C kreuzen die Strecke zwischen A und B und fädeln in diese ein bzw. aus. Im Unterschied zu Knoten 1 können Züge der Strecke C–D im Knoten auf Züge der Gegenrichtung auf der Strecke C–D warten. Somit stellt der Knoten 2 eine Ausweichmöglichkeit für Züge der Gegenrichtung auf der Strecke C–D dar, was eventuelle betriebliche Vorteile für die eingleisige Strecke mit sich bringt.

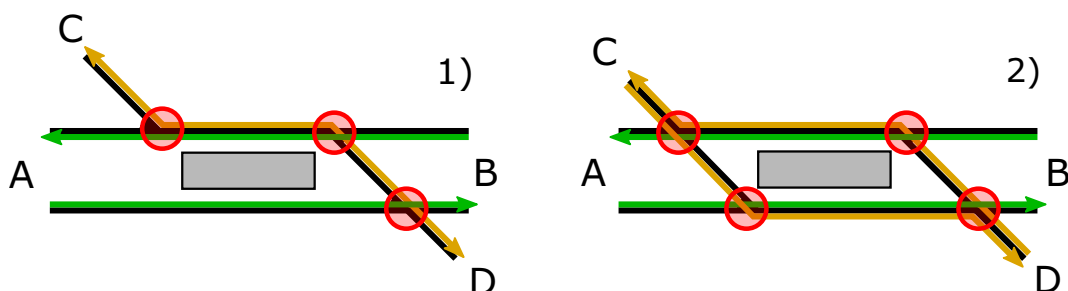


Abb. 2.9: Lokale Betrachtung von Verkehrsströmen mit eingezeichneten potenziellen Konfliktpunkten

2.4.3 Konfliktpotenzial von Verkehrsströmen

Unter Konfliktpotenzial von Verkehrsströmen ist die Anzahl der potenziell auftretenden Konflikte entlang eines Verkehrsstroms zu verstehen. Das Konfliktpotenzial wird durch Aufsummieren aller auftretenden potenziellen Konfliktpunkte entlang eines Verkehrsstrom ermittelt. Je höher das Konfliktpotenzial eines Verkehrsstromes ist, desto aufwendiger ist es für diesen Verkehrsstrom geeignete Fahrplantrassen¹ zu planen. Das Konfliktpotenzial beschreibt nicht die Kapazität oder die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Infrastruktur. Die Leistungsfähigkeit ist mittels anderen Untersuchungsmethoden zu untersuchen. Das Konfliktpotenzial weist lediglich auf zu erwartende Komplikationen in der Betriebsabwicklung hin und lässt eine Einschätzung auf die Wechselwirkung zwischen Betrieb und Infrastruktur zu. (Bendfeldt 2004, S.64)

¹Unter den Begriff „Fahrplantrasse“ ist die zeitliche Belegung der Infrastruktur durch eine Zugfahrt zu verstehen. (Pachl 2018, S. 280)

Zum Konfliktpotenzial werden die potenziellen Konflikte des Kreuzens zweier Verkehrsströme bzw. des Einfädels eines Verkehrsstroms in einen anderen gezählt. Wie in Kapitel 2.4.2 bereits erwähnt, wird die Ausfädelung von Ausfahrten nicht immer als potenzieller Konfliktpunkt betrachtet. Der Vorgang des Ausfädels stellt im Betrieb in der Regel keine Probleme dar. Somit kann die Ausfädelung als potenzieller Konfliktpunkt ignoriert werden. (Bendfeldt 2004, S.65)

Die auftretenden potenziellen Konfliktpunkte entlang eines Verkehrsstroms können tabellarisch erfasst werden. Tabelle 2.2 fasst das Konfliktpotenzial der Fahrten aus Knoten 1 der Abbildung 2.8 und Tabelle 2.3 jenes von Knoten 2 zusammen. Alle Fahrten sind als gleichrangig angenommen. Für jeden Verkehrsstrom sind die jeweiligen Konfliktpunkte aufgelistet. In den Tabellen wird zwischen Kreuzen (K) und Einfädeln (E) unterschieden. Die Ausfädelung wird nicht betrachtet, da sie in der Regel keinen potenziellen Konfliktpunkt darstellt. Fädelt im Knoten ein Verkehrsstrom in den anderen ein und verlaufen beide Verkehrsströme abschnittsweise auf dem einen Gleis bevor einer der Verkehrsströme wieder ausfädelt, so wird dieser Vorgang als Kreuzung behandelt. Um einen Überblick der Gesamtzahl der auftretenden potenziellen Konflikte zu bekommen, können diese anschließend aufsummiert werden. Das erlaubt das Konfliktpotenzial mehrerer Knoten untereinander zu vergleichen. Aus den Tabellen 2.2 und 2.3 geht hervor, dass entlang des Verkehrsstromes zwischen C und D mit den meisten potenziellen Konflikten zu rechnen ist.

Tab. 2.2: Konfliktpotenzial in Knoten 1 bei Gleichrang

Fahrt	K	E	gesamt
A – B	1	0	1
B – A	1	0	1
C – D	1	1	3
D – C	1	1	3

Tab. 2.3: Konfliktpotenzial in Knoten 2 bei Gleichrang

Fahrt	K	E	gesamt
A – B	1	1	2
B – A	1	1	2
C – D	1	1	3
D – C	1	1	3

Tabelle 2.4 und 2.5 zeigen die Konfliktpotenziale in den gleichen Knoten aus Abbildung 2.8, wobei Vorrang für die Fahrten zwischen A und B angenommen wird. Falls gleichzeitig ein Zug je aus A (bzw. B) und C (bzw. D) kommen, so sind der Zug aus A (bzw. B) im Betrieb bevorrangt und der Zug aus C (bzw. D) muss warten.

Ein Vergleich der Tabellen 2.2 und 2.3 mit den Tabellen 2.4 und 2.5 zeigt, dass Fahrten mit Gleichrang und jener mit Vorrangsordnung im gleichen Knoten unterschiedliche Konfliktpotenziale aufweisen, während die Verkehrsströme zwischen C und D in beiden Fällen die gleiche Anzahl an potenziellen Konflikten aufweisen.

Die Auswirkungen auf den Verkehr zwischen C und D aufgrund der Vorrangsordnung kann mit einer Verkehrsstromanalyse nicht ausreichend beschrieben werden. Dafür ist eine Simulation oder eine andere Methode der Leistungsfähigkeitsuntersuchung notwendig.

Tab. 2.4: Konfliktpotenzial in Knoten 1 bei Vorrang auf der Strecke A–B

Fahrt	K	E	gesamt
A – B	0	0	0
B – A	0	0	0
C – D	1	1	3
D – C	1	1	3

Tab. 2.5: Konfliktpotenzial in Knoten 2 bei Vorrang auf der Strecke A–B

Fahrt	K	E	gesamt
A – B	0	0	0
B – A	0	0	0
C – D	1	1	3
D – C	1	1	3

Hiermit zeigt sich, dass die Untersuchung von potenziellen Konfliktpunkten Grenzen aufzeigt. Für eine detailliertere Analyse des Betriebs sind tiefer gehende Leistungsuntersuchungen notwendig.

An dieser Stelle wird der Knoten Hütteldorf anhand der Verkehrsstromanalyse untersucht, da sich diese für eine oberflächlichen Untersuchung mehrerer Gestaltungsvarianten eines Knotens eignet. Wenn sich anhand dieser Analyse eine zu bevorzugende Variante des Knotens herauskristallisiert, kann diese mittels Simulation weiter untersucht werden.

Kapitel 3

Analyse des Knotens Hütteldorf

3.1 Motivation und Zielsetzung

Allgemeines Ziel und Motivation ist es, den Verkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern. Dafür ist es unter anderem notwendig, für die Nutzer des motorisierten Individualverkehrs den Umstieg vom Auto auf die Bahn zu erleichtern. Möglichkeiten diesen Umstieg zu fördern sind beispielsweise die Verkürzung von Zugintervallen oder Änderungen der Linienverläufe im Eisenbahnnetz.

Aufgrund seiner Lage stellt der Knoten Wien Hütteldorf eine wichtige Umsteigemöglichkeit in Wien für Pendler aus dem Westen dar. Von Wien Hütteldorf aus führen Verbindungen in den Norden (Vorortelinie), in den Süden (Verbindungsbahn), in den Osten (Richtung Westbahnhof) und ins Zentrum (U-Bahn-Linie U4).

Wegen seiner Lage und seiner Funktion als Drehscheibe zwischen dem Westen und verschiedenen Destinationen in Wien bietet sich der Knoten Hütteldorf an, die bestehenden Verbindungen für Pendler durch Taktverdichtungen und durch Verknüpfungen von Linien zu attraktivieren.

3.2 Bestandsaufnahme

Als Grundlage für die Bestandsaufnahme und für die anschließende Analyse des Knotens Wien Hütteldorf dienen Pläne der ÖBB und die Fahrpläne vom Verkehrsverbund Ost-Region (VOR) und von der Westbahn, die im Anhang angeführt sind.

Der Knoten Wien Hütteldorf liegt im Westen von Wien im 14. Bezirk (Wien Penzing) und verknüpft vier Strecken (ÖBB Infra 2019):

- Wien Westbahnhof – Knoten Wagram
- Wien Hütteldorf – Unter Purkersdorf
- Wien Brigittenau – Wien Hütteldorf „Vorortestrecke“
- Wien Hütteldorf – Wien Praterstern „Verbindungsstrecke“

Die Wien Westbahnhof – Knoten Wagram beginnt in Wien Westbahnhof, verläuft über Wien Hütteldorf weiter nach St. Pölten. Kurz nach Wien Wolf in der Au führt die Strecke in einen Tunnel und verläuft weiter im Untergrund, ehe diese kurz nach Wien Weidlingau wieder oberirdisch verläuft. In Wien Hadersdorf kreuzen sich unterirdisch die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und die Strecke Wien Meidling – Linz Hbf (Lainzertunnel).

Die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf beginnt in Wien Hütteldorf und verläuft oberirdisch parallel zur Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram.

Die Strecke Wien Hütteldorf – Wien Brigittenau hat ihren Beginn in Wien Hütteldorf. Die Strecke führt zunächst in den Osten parallel zur Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram, ehe diese auf der Höhe vom Knoten Wien Penzing in den Norden abzweigt Richtung Handelskai. Von Hütteldorf bis nach Penzing ist die Strecke eingleisig und ab Penzing zweigleisig ausgebaut. Die auf der Strecke Wien Hütteldorf – Wien Brigittenau verkehrende S-Bahn-Linie S45 wird umgangssprachlich auch Vorortelinie genannt. Für die Strecke Hütteldorf – Brigittenau wird auch die Bezeichnung „Vorortestrecke“ verwendet.

Die Strecke Wien Hütteldorf – Wien Praterstern beginnt in Wien Hütteldorf, verläuft ostwärts parallel zur Strecke Wien Westbahnhof – Knoten Wagram. Westlich vom Frachtenbahnhof Penzing verläuft die Hütteldorf – Praterstern weiter Richtung Süden, während die Strecke Westbahnhof – Wagram Richtung Westbahnhof weiterführt. Von Hütteldorf bis zum Frachtenbahnhof Penzing ist die Strecke eingleisig und ab dem Frachtenbahnhof zweigleisig ausgebaut. Die Linie S80, die auf dieser Strecke verkehrt, wird umgangssprachlich auch „Verbindungsbahn“ genannt. Die Strecke Wien Hütteldorf – Wien Praterstern wird an dieser Stelle auch als „Verbindungsstrecke“ bezeichnet.

Entlang der Vorortelinie, der Verbindungsbahn und der alten Westbahn bzw. der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf befinden sich Stationen des Regionalverkehrs. Östlich von Hütteldorf liegt der Bahnhof Wien Westbahnhof, der einen wichtigen Verkehrsknotenpunkt für den regionalen Bahnverkehr und den öffentlichen Personennahverkehr ÖPNV darstellt. Zwischen Wien Hütteldorf und Wien Westbahnhof liegt der Knoten Wien Penzing und der Frachtenbahnhof Penzing.

Abbildung 3.1 stellt die Streckenverläufe durch und um den Knoten Wien Hütteldorf graphisch dar.



Abb. 3.1: Streckenverläufe durch und um den Knoten Hütteldorf

In Hütteldorf verkehren Züge der S-Bahn-Linien (S45, S50 und S80), Regionalzüge (REX51 und IRX5) und Fernverkehrszüge (Westbahn). Die Linie S45 befährt die Strecke zwischen Hütteldorf und Brigittenau. Züge der Linie S50 fahren zwischen Wien Westbahnhof und Hütteldorf auf der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram. In Hütteldorf wechseln sie auf die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf. Die Linie S80 befährt die Wien Hütteldorf – Wien Praterstern von Hütteldorf über Wien Hauptbahnhof nach Aspern Nord. Die Regionalzüge der Linie REX51 fahren zwischen Wien Westbahnhof und St. Pölten Hbf auf der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram. Die Linie IRX5 und die Westbahn befahren die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram zwischen Wien Westbahnhof und dem unterirdischen Abzweigknoten in Wien Hadersdorf. Im Abzweigknoten fahren die Züge in den Wienerwaldtunnel. Tabelle 3.1 fasst die Linien in Hütteldorf und die Strecken, die sie befahren, zusammen. Des Weiteren sind die Quell-Ziel-Beziehungen der Linien aufgelistet.

Tab. 3.1: Linien im Bahnhof Hütteldorf

Linie	Quell-Ziel-Beziehung	befahrene Strecken
S45	Wien Hütteldorf – Wien Handelskai	Vorortestrecke
S50	Wien Westbahnhof – Unter Purkersdorf – Neulengbach	Strecke Wien Westbahnhof – Knoten Wagram
S80	Wien Hütteldorf – Wien Aspern Nord	Verbindungsstrecke
REX51	Wien Westbahnhof – St. Pölten Hbf	Strecke Wien Westbahnhof – Knoten Wagram
IRX5	Wien Westbahnhof – Amstetten	Strecke Wien Westbahnhof – Knoten Wagram
WB	Wien Westbahnhof – Salzburg Hbf	Strecke Wien Westbahnhof – Knoten Wagram

3.3 Analyse des Knotens

3.3.1 Infrastrukturpotenzialanalyse

Als Grundlage für die Analyse der vorhandenen Infrastruktur dient das Gleisschema vom Bahnhof Hütteldorf, das im Anhang A zu finden ist. Als Basis für das Gleisschema diente die Lageplankizze zum Knoten Hütteldorf von den ÖBB. Wie im Kapitel 2.1.3 beschrieben, wird bei der Infrastrukturpotenzialanalyse zwischen einem topologischen Teil und einem funktionalen Teil unterschieden.

Topologischer Teil

Von Osten laufen fünf Gleise auf den Bahnhof Hütteldorf zu (vgl. Gleisschema in Anhang A): Gleise 011 und 012 der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram, Gleis 004 der Strecke Hütteldorf – Brigittenau, Gleis 005 der Strecke Hütteldorf – Aspern Nord und Gleis 003. Das Gleis 003 verbindet den Knoten Hütteldorf mit der Abstellanlage des Frachtenbahnhofs Penzing und ist nur für Verschubfahrten vorgesehen. Im Bahnhofskopf

fächern sich die Gleise auf und verlaufen weiter parallel zueinander. Am breitesten Querschnitt des Bahnhof liegen zwölf Hauptgleise nebeneinander. Im Norden und im Süden schließen Nebengleise an die Hauptgleise an. Im Bereich der Bahnsteige verringert sich die Anzahl der Gleise auf sieben. Bei der Ausfahrt im Westen nach den Bahnsteigen reduziert sich die Zahl der Hauptgleise auf vier und gehen in die freie Strecke über. Durch den gesamten Knoten verlaufen zwei durchgehende Hauptgleise, wobei eines davon keine Bahnsteigkante besitzt. Die Verbindung aller Gleise im Bahnhof erfolgt durch insgesamt 3 Kreuzungen und 78 Weichen, wobei 8 darunter Doppelkreuzungsweichen sind. Für den Ein- und Ausstieg befinden sich insgesamt sechs Bahnsteige im Bahnhof, die mit einer Unterführung miteinander verbunden sind.

In Tabelle 3.2 sind alle Werte des Kennwertes *Infrastruktureinheiten* zusammengefasst.

Tab. 3.2: Kennwert Infrastruktureinheiten

Infrastruktureinheiten	
Hauptgleise	20
davon durchgehende Hauptgleise	2
Nebengleise	11
einfache Weichen	70
Doppelkreuzungsweichen	8
Kreuzungen	3
Bahnsteige	6

Abbildung 3.2 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Gleisschemas. Darin sind die Hauptgleise, wichtige Gleisverbindungen, die Bahnsteige und das Aufnahmegebäude eingezeichnet. Gleisgruppe 1 (GP1) umfasst die Nebengleise im Süden des Knotens. Gleisgruppe 3 (GP3) umfasst die Nebengleise im Norden des Knotens. Gleisgruppe 2 (GP2) umfasst die zu den durchgehenden Hauptgleisen parallel verlaufenden Gleise. Sonstige Gleise geringerer Bedeutung sind nicht dargestellt, um eine gute Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird diese Darstellung des Knoten Hütteldorfs verwendet, da sie für die folgenden Untersuchungen alle relevanten Infrastruktureinheiten enthält.

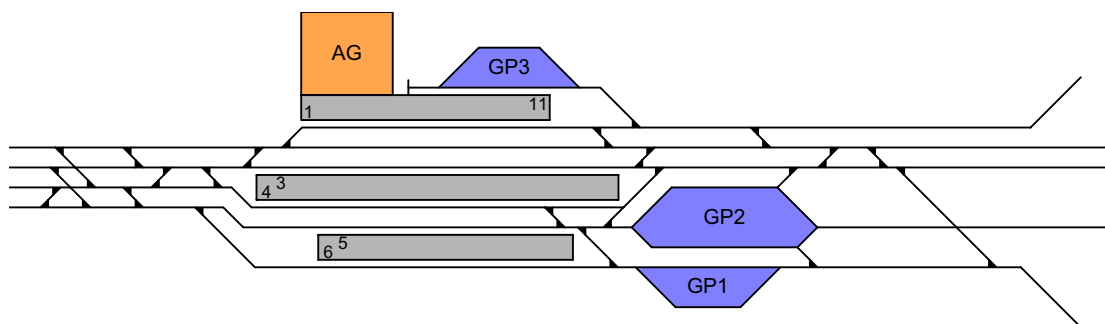


Abb. 3.2: Vereinfachte Darstellung der Lageskizze des Bahnhof Wien Hütteldorf

Funktionaler Teil

Der Bahnhof Hütteldorf kann entsprechend verschiedener Funktionen auf unterschiedliche Weise klassifiziert werden (siehe Abschnitt 2.2.2).

Gemäß der verkehrlichen Aufgaben erfüllt der Bahnhof die Funktion eines Personenbahnhofs. Hinsichtlich der Lage im Netz handelt es sich um einen Zwischenbahnhof.

Der Bahnhof Hütteldorf weist mehrere Arten der Streckenverknüpfung auf. Zum einen handelt es sich um einen Anschlussbahnhof, da die Strecke der Vorortelinie in einem Stumpfgleis endet. Zum anderen entspricht der Bahnhof Hütteldorf einem Trennungsbahnhof, da die Strecken Hütteldorf – Unter Purkersdorf und Hütteldorf – Aspern Nord in die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram übergehen.

Hinsichtlich seiner *Knotentypisierung* handelt es sich beim Bahnhof Hütteldorf um einen (3+2)–Knoten (siehe Abbildung 3.3). Im westlichen Bahnhofskopf schließen zwei zweigleisige Streckenäste (Westbahnhof – Wagram, Hütteldorf – Unter Purkersdorf) an. Im östlichen Bahnhofskopf grenzen drei Streckenäste an, wobei einer davon zweigleisig (Westbahnhof – Wagram) und die anderen beiden eingleisig (Vorortestrecke, Verbindungsstrecke) sind.

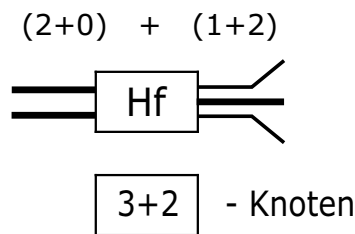


Abb. 3.3: Typisierung des Knotens Wien Hütteldorf

Zur Ermittlung des *Verknüpfungsgrades* wird die Formel 2.1 (S.23) angewendet. Das Gleisschema vom Knoten Hütteldorf wird soweit vereinfacht, sodass alle für die Feststellung des Verknüpfungsgrades notwendigen Informationen in der vereinfachten Darstellung enthalten sind. Abbildung 3.4 zeigt die vereinfachte Darstellung des Knotens. Es wurden alle Nebengleise und parallel verlaufenden Hauptgleise, die nicht unmittelbar zur Streckenverknüpfung beitragen und demnach keinen Einfluss auf den Verknüpfungsgrad haben, weggelassen. Es sind jene vorhandenen Weichen und Verbindungen eingezeichnet, die für die Verknüpfung der Strecken notwendig sind. Demzufolge sorgen gegenwärtig 33 Weichen für die Verknüpfung der Strecken.

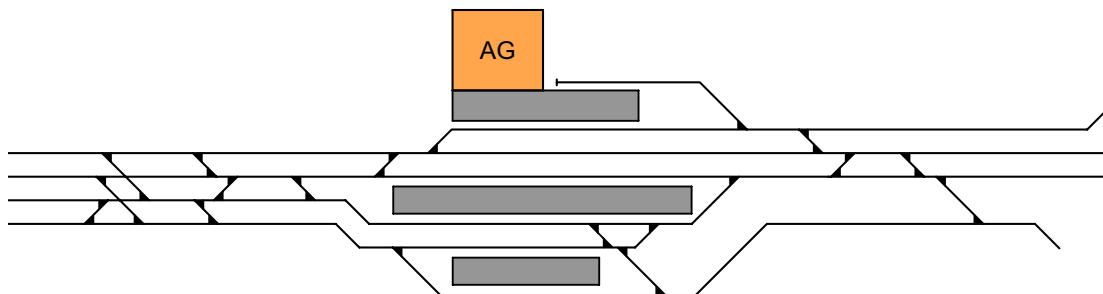


Abb. 3.4: Vorhandene Weichen für die Verknüpfung des Knotens

Abbildung 3.5 zeigt das gleiche Gleisschema wie in Abbildung 3.4 mit dem Unterschied, dass zusätzlich jene Weichen und Verbindungen eingezeichnet sind, die für eine vollständige Verknüpfung notwendig sind. Demnach sind drei zusätzliche Weichen, also insgesamt 38

Weichen, für eine vollständige Verknüpfung erforderlich. Unter Anwendung der Formel 2.1 ergibt sich der Verknüpfungsgrad von 0,868. Aus der Gleichung 3.1 geht hervor, dass das Ergebnis kleiner als eins ist und somit keine vollständige Verknüpfung vorliegt.

$$n = \frac{\sum n_{W,vorh}}{\sum n_{W,i}} = \frac{33}{38} = 0,868 \quad (3.1)$$

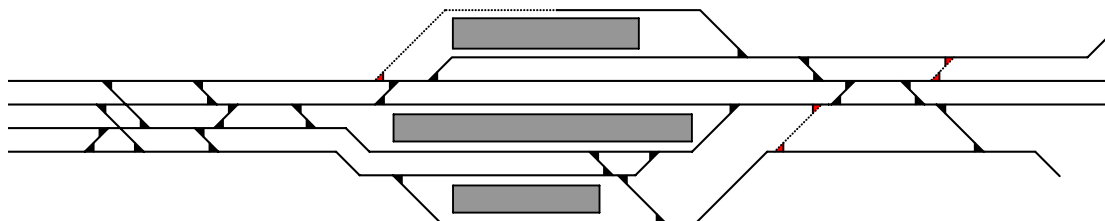


Abb. 3.5: Erforderliche Weichen für eine vollständige Verknüpfung des Knotens

In Abbildung 3.6 ist das gleiche Gleisschema wie in Abbildung 3.4 zu sehen, wobei zusätzlich all jene Weichen und Verbindungen eingezeichnet sind, die im Knoten Hütteldorf vorhanden, aber für die Verknüpfung der Strecken redundant sind. An dieser Stelle handelt es sich um parallele Gleisverbindungen. Unter nochmaliger Anwendung der Formel 2.1 ergibt sich diesmal ein Verknüpfungsgrad von 1,079. Aus der Gleichung 3.2 geht hervor, dass das Ergebnis größer als eins ist. Gemäß Bendfeldt (2004, S.48) ist das Gleissystem überdimensioniert.

$$n = \frac{\sum n_{W,vorh}}{\sum n_{W,i}} = \frac{41}{38} = 1,079 \quad (3.2)$$

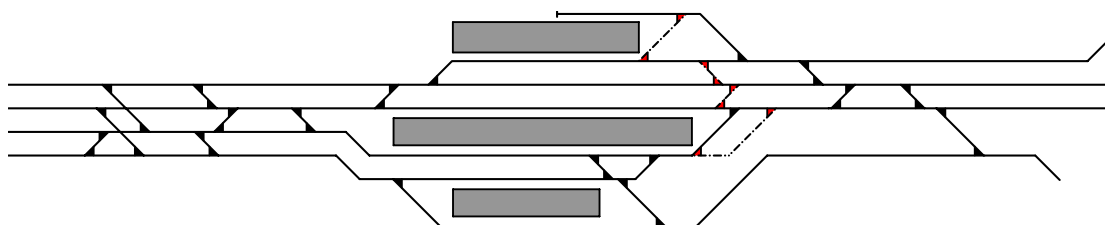


Abb. 3.6: Redundante Weichen für die Verknüpfung des Knotens

Aus der vorliegenden Betrachtung des Verknüpfungsgrades geht hervor, dass dieser Kennwert reflektiert anzuwenden ist. Bei komplexen Knoten kann eine undifferenzierte Betrachtung des Kennwertes des Verknüpfungsgrades zu einer verzerrten Darstellung des Knotens führen und daher an Aussagekraft verlieren. Während manche Strecken innerhalb eines Knotens gemäß des Kennwertes Verknüpfungsgrad durch parallele Gleisverbindungen gut miteinander verbunden sind, können andere Strecken im selben Knoten unzureichend miteinander verknüpft sein. Eine differenzierte Betrachtung dieses Kennwertes erlaubt eine aussagekräftige Beschreibung des Verknüpfungsgrades eines Knotens.

Im Fall vom Knoten Hütteldorf sind beispielsweise die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf aufgrund von parallelen Gleisverbindungen gemäß des Kennwertes Verknüpfungsgrad gut miteinander verknüpft. Hingegen sind die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und die Strecke der Vorortelinie unzureichend verbunden.

3.3.2 Fahrtenanalyse

Im Zuge der Fahrtenanalyse des Knotens Hütteldorf werden die Zugbewegungen innerhalb eines einstündigen Zeitfensters betrachtet. Als Basis für die Untersuchung dienen die Fahrpläne des VOR (AIS 2019) (siehe Anhang B) und des Unternehmens der Westbahn (2020) (siehe Anhang C).

Je nach Betrachtungszeitraum variieren die Intervalle der Züge. Die höchste stündliche Zugzahl ist in den Stoßzeiten (in der Früh bzw. am frühen Nachmittag) zu verzeichnen. Infolgedessen ist für die Fahrtenanalyse ein Zeitfenster innerhalb der Stoßzeit maßgebend, da in diesem Zeitraum mit der größten Belastung des Knotens zu rechnen ist.

Die Tabelle 3.3 listet das Taktschema aller Linien im Knoten Hütteldorf innerhalb der Stoßzeit auf. Das Taktschema ist von der Fahrplankarte des VOR entnommen (vgl. Anhang B).

Tab. 3.3: Taktschema der Linien im Knoten Hütteldorf

Zug	Takt
S45	10 Minuten
S50	15 Minuten
S80	30 Minuten
REX51	30 Minuten
IRX5	30 Minuten
WB	60 Minuten

Tabelle 3.4 fasst die Anzahl der Zugbewegungen pro Stunde zusammen, die aus dem vorgegebenem Taktschema resultiert. Es ist zu sehen, dass die Linie S45 mit 12 Zügen pro Stunde die meisten Zugbewegungen durchführt, gefolgt von der Linie S50 mit 8 Zügen pro Stunde. Insgesamt finden in der Spitzenstunde 34 Zugbewegungen im Knoten Hütteldorf statt.

Tab. 3.4: Zugbewegungen pro Stunde im Knoten Hütteldorf

Linie	Zugzahlen
S45	12
S50	8
S80	4
REX51	4
IRX5	4
WB	2
gesamt	34

Abbildung 3.7 stellt die stündlichen Zugzahlen nochmals graphisch dar, wobei die einzelnen Linien eingezeichnet sind. Die Strichstärken der eingezeichneten Linien stehen im Verhältnis zu den Zugzahlen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die meisten Zugbewegungen auf der West-Ost-Achse stattfinden, gefolgt von der Vorortelinie (S45).

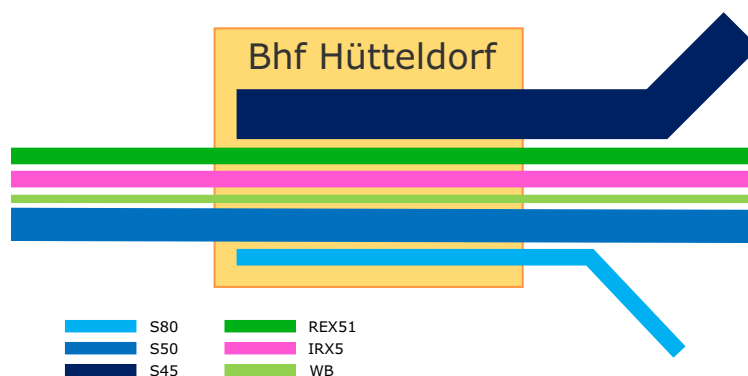


Abb. 3.7: Verkehrsstärke der Linien im Knoten Hütteldorf

3.3.3 Verkehrliche Analyse

In den folgenden Untersuchungen wird nur der Personenverkehr in Hütteldorf betrachtet, wobei dieser wieder in SPNV und SPFV unterteilt werden kann. Tabelle 3.5 gibt den Kennwert *Verkehrsart* an. Dabei ist die Anzahl der stündlichen Zugbewegungen in der Stoßzeit je Verkehrsart angeführt. Es ist eindeutig zu erkennen, dass der SPNV gegenüber dem SPFV im Knoten Hütteldorf dominiert.

Tab. 3.5: Kennwert Verkehrsart

Verkehrsart	Zugzahlen
SPNV	32
SPFV	2

Der SPNV kann zusätzlich in Regionalverkehr und Nahverkehr untergliedert werden. Der Regionalverkehr beinhaltet alle Züge der Linien REX51 und IRX5, wohingegen der Nahverkehr alle S-Bahn-Linien (S45, S50 und S80) einschließt. In der Tabelle 3.6 sind zusätzlich die Zugbewegungen des SPNV in Regionalverkehr und Nahverkehr unterteilt. Aus der Tabelle geht hervor, dass der Nahverkehr gegenüber dem Regionalverkehr im Knoten Hütteldorf überwiegt.

Tab. 3.6: Kennwert Verkehrsart

Verkehrsart	Zugzahlen	
SPNV	Nahverkehr	24
	Regionalverkehr	8
SPFV		2

Der Kennwert *Behandlung* gibt an, ob die Züge im Knoten einen Halt einlegen oder durchfahren. In Fall vom Knoten Hütteldorf legen alle Personenzüge einen Verkehrshalt ein. Somit ist den Fahrgästen der Umstieg und die Weiterfahrt in alle Richtungen möglich.

3.3.4 Funktionale Analyse

Im Zuge eines Lokalausgleichs wurde die Betriebsabwicklung im Knoten Hütteldorf identifiziert. Es wurde erfasst, welche Gleise befahren werden und an welchen Bahnsteigen die Züge zum Stehen kommen.

Der Fahrtenverlauf der Züge aller Linien ist in Tabelle D.1 in Anhang D beschrieben. Die Abbildungen 3.8, 3.9, 3.10 und 3.11 fassen den Fahrtenverlauf der Züge aller Linien graphisch zusammen. Aus den Darstellungen geht hervor, dass die Linien S50, REX51, IRX5 und WB teilweise dieselben Gleise und Bahnsteige benutzen. Hingegen überschneiden sich die Linien S45 und S80 mit keiner der anderen Linien.

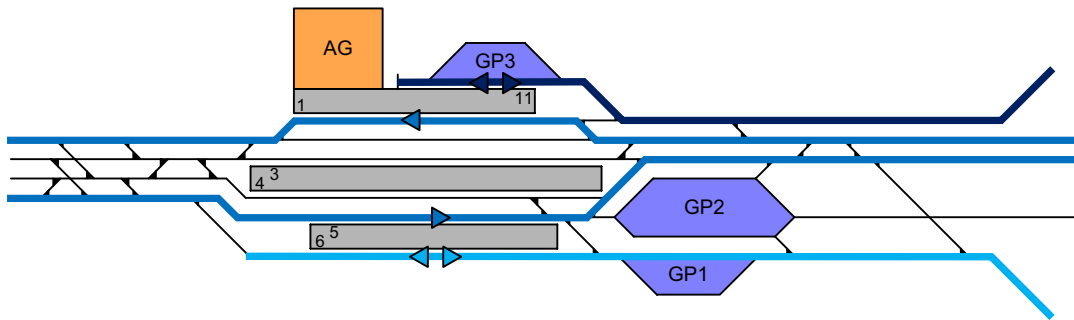


Abb. 3.8: Linienführung S45, S50 und S80

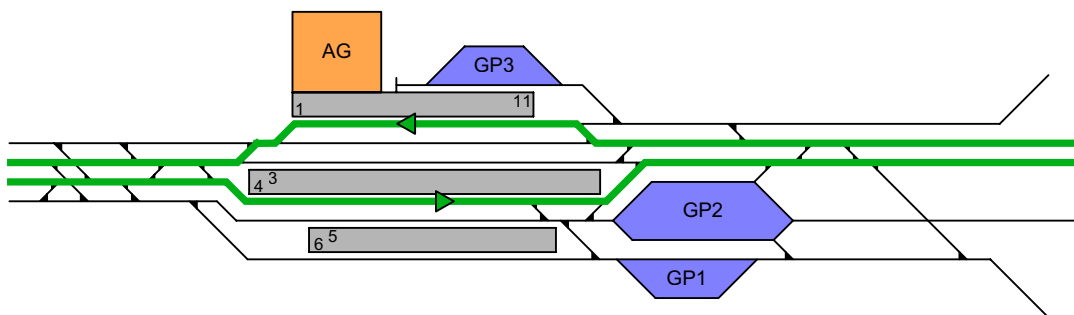


Abb. 3.9: Linienführung REX51

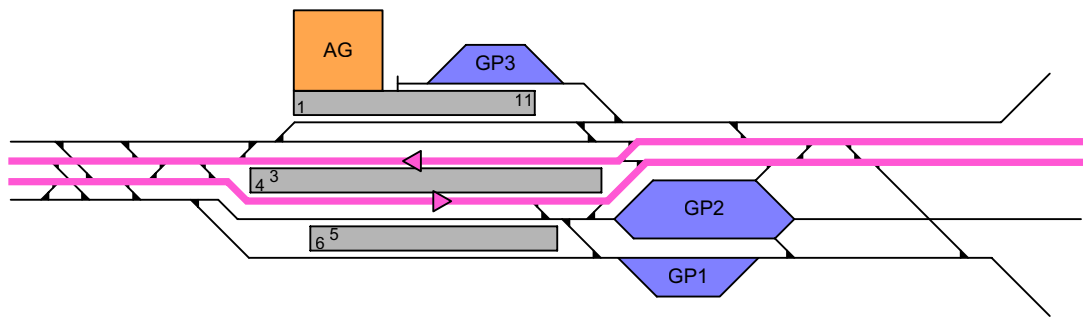


Abb. 3.10: Linienführung IRX5

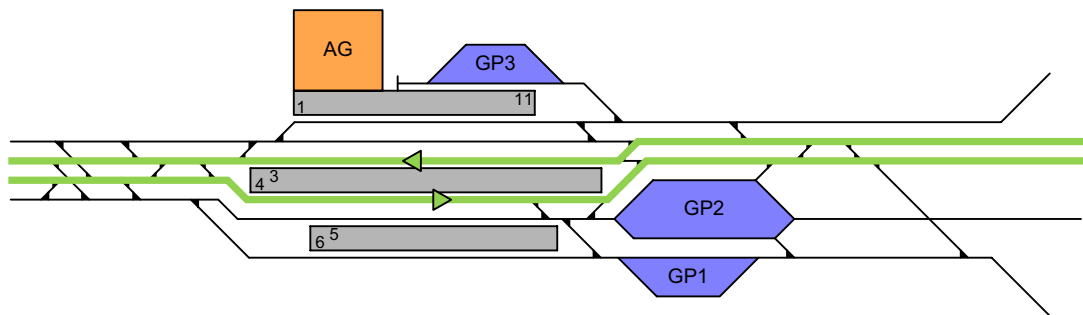


Abb. 3.11: Linienführung Westbahn

Der Kennwert *Streckenwechsel* gibt an, wie viele Zugfahrten von einer Strecke auf eine andere Strecke übergehen. Aus Abbildung 3.8 ist zu erkennen, dass die Züge der Linie S50 einen Wechsel zwischen den Strecken Westbahnhof – Knoten Wagram und Hütteldorf – Unter Purkersdorf durchführen, wobei sie dabei nicht die Richtung wechseln. Die Züge aller anderen Linien legen keinen Streckenwechsel ein. Tabelle 3.7 fasst zusammen, bei welchen Linien Zugfahrten mit Streckenwechsel und Richtungswechsel stattfinden. Zusätzlich sind die stündlichen Zugzahlen für die Berechnung des Kongruenzfaktors angeführt.

Für den *Kongruenzfaktor für Betriebsprogramm und Infrastruktur* ergibt sich ein Wert von 0,765 (vgl. Gleichung 3.3). Nach der Definition von Bendfeldt (2004, S.48–49) beschreibt der Kongruenzfaktor den Grad der Übereinstimmung zwischen Streckenverlauf und Verkehrsströme im Knoten. Die Anwendung dieses Kennwerts ist jedoch kritisch zu betrachten, da auch er eine verzerrte Darstellung des Knotens geben kann. Im Fall von Knoten Hütteldorf verlaufen die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und Hütteldorf – Unter Purkersdorf je zweigleisig im Westen parallel zueinander, wobei die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram in den Osten bis Wien Westbahnhof weitergeht und die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf in Hütteldorf endet. Der Übergang zwischen der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf wird durch wenige Gleisverbindungen gewährleistet, ohne andere Strecken zu kreuzen.

Der errechnete Kongruenzfaktor trifft daher keine qualitative Aussage über Streckenübergänge. Ein Knoten, bei dem viele Streckenübergänge stattfinden, weist zwar einen niedrigen Kongruenzfaktor auf, kann aber unter Umständen weniger Komplikationen in

der Betriebsabwicklung dank einer sinnvollen Anordnung der Infrastruktur aufweisen, als ein Knoten mit hohem Kongruenzfaktor.

Tab. 3.7: Streckenwechsel im Knoten Hütteldorf

Linie	Streckenwechsel	Streckenwechsel inkl. Richtungswechsel	Züge pro Stunde (2023)
S45	nein	nein	12
S50	ja	nein	8
S80	nein	nein	4
REX51	nein	nein	4
IRX5	nein	nein	4
WB	nein	nein	2

$$K = \frac{\sum N_{osw}}{\sum N} = \frac{12 + 4 + 4 + 4 + 2}{34} = \frac{26}{34} = 0,765 \quad (3.3)$$

Bezüglich des Kennwerts *Betriebsabwicklung* liegen im Bahnhof Hütteldorf folgende Verhältnisse vor: Bahnsteig 1 und 11 werden im Richtungsbetrieb befahren. Die Züge der Linien S50 und REX51 befahren Bahnsteig 1 und die Züge der Linie S45 bedienen Bahnsteig 11, wobei die Züge aller drei Linien aus der gleichen Richtung, aus Osten, in den Knoten einfahren. Die Linienführung an Bahnsteig 1 und 11 erlaubt einen kurzen Umsteigeweg von der Linie S45 auf die Linien S50 und REX51 ohne den Bahnsteig über die Unterführung wechseln zu müssen.

Bahnsteig 3 und 4 werden von den Linien REX51, IRX5 und WB im Linienbetrieb bedient, wobei die Linien IRX5 und WB beider Fahrrichtungen den Mittelbahnsteig befahren und die Linie REX51 nur in der Fahrrichtung von Westen nach Osten diesen Bahnsteig bedient. Fahrgäste, die von den Linien REX51, IRX5 und WB auf die Linien Richtung Handelskai (S45) oder Meidling (S80) umsteigen wollen, müssen über die Unterführung den Bahnsteig wechseln.

Bahnsteig 5 und 6 wird von den Linien S50 und S80 ebenfalls im Linienbetrieb bedient. Um von diesen Linien auf die Linien S45, REX51, IRX5 und WB müssen die Fahrgäste den Bahnsteig über die Unterführung wechseln.

Im Bahnhof Hütteldorf liegt nicht ausschließlich Linienbetrieb oder Richtungsbetrieb vor, sondern eine Kombination beider Formen der Betriebsabwicklung.

3.4 Verkehrsstromanalyse

Wie bereits in Kapitel 3.2 beschrieben, führen vier Strecken in den Knoten Hütteldorf. In Abbildung 3.12 ist der Knoten Hütteldorf mit seinen Zulaufstrecken aus dem Streckennetz herausgeschnitten (vgl. Abbildung 3.1). In der Darstellung ist zu erkennen, dass die Strecke der Verbindungsbahn und die Vorortestrecke eingleisig in Hütteldorf beginnen bzw. enden. Die Strecken der Westbahnhof – Knoten Wagram und Hütteldorf – Unter Purkersdorf sind zweigleisig ausgeführt, wobei erstere durch den Knoten verläuft und letztere im Knoten beginnt bzw. endet.

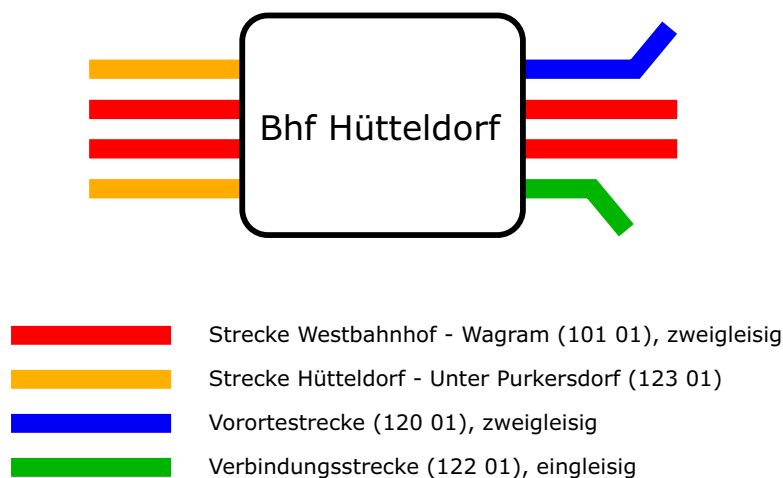


Abb. 3.12: Streckenverlauf im Knoten Hütteldorf

Abbildung 3.13 zeigt die Verkehrsströme der einzelnen Linien im Knoten Hütteldorf und die Zulaufstrecken, die diese befahren. Die Pfeile bilden dabei die Linien und deren Fahrtrichtungen ab und die Kreise stellen die Streckengleise dar, die beim Ein- bzw. Ausfahren aus dem Knoten Hütteldorf benutzt werden.

Aus der Darstellung geht hervor, dass die Züge der Linien REX51, IRX5 und WB in beiden Richtungen ausschließlich auf der Strecke Westbahnhof – Wagram fahren und keinen Streckenwechsel vornehmen. Die Züge der Linie S50 wechseln zwischen der Strecke Westbahnhof – Wagram und der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf. In Abbildung 3.13 ist zu sehen, dass die Züge der S50 dabei im Knoten Hütteldorf in die zu wechselnde Strecke ein- bzw. ausfädeln müssen. Die Linien S45 und S80 fahren jeweils auf eigenen Strecken (Vorortstrecke bzw. Verbindungsstrecke) und beginnen bzw. enden in Hütteldorf. Aufgrund dieser Gegebenheit müssen Züge der S45 und S80 die anderen Linien nicht kreuzen oder in andere Strecken ein- bzw. ausfädeln. Ein Vergleich mit Abbildung 3.8 bis 3.11 zeigt, dass die bestehende Infrastruktur in Hütteldorf so ausgelegt ist, dass die Linien S45 und S80 auf eigenen Gleisen fahren.

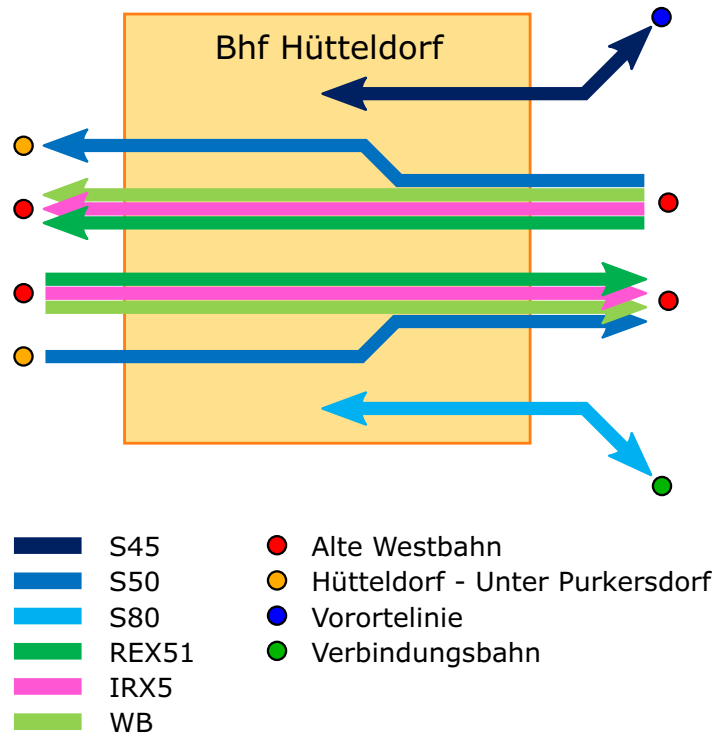


Abb. 3.13: Linienverlauf durch den Knoten Hütteldorf, Ausgangslage

Für die weitere Bearbeitung des Knoten Hütteldorfs auf globaler Ebene wird die Darstellung in Abbildung 3.13 vereinfacht, um die Übersichtlichkeit zu bewahren. Die Linien REX51, IRX5 und WB werden zu einem Verkehrsstrom zusammengefasst. Des Weiteren werden die Zulaufstrecken nicht gesondert markiert, da sich diese anhand der Betrachtung der Verkehrsströme ergeben. Abbildung 3.14 stellt die vereinfachte Situation im Knoten Hütteldorf dar.

Globale Betrachtung

Gemäß Abbildung 3.14 tritt im ganzen Knoten nur ein potenzieller Konfliktpunkt auf. Die Linie S50 fädelt in den Verkehrsstrom der Linien REX51, IRX5 und WB ein. Die Ausfädelung der Linie S50 aus dem Verkehrsstrom der Linien REX51, IRX5 und WB stellt keinen potenziellen Konfliktpunkt dar.

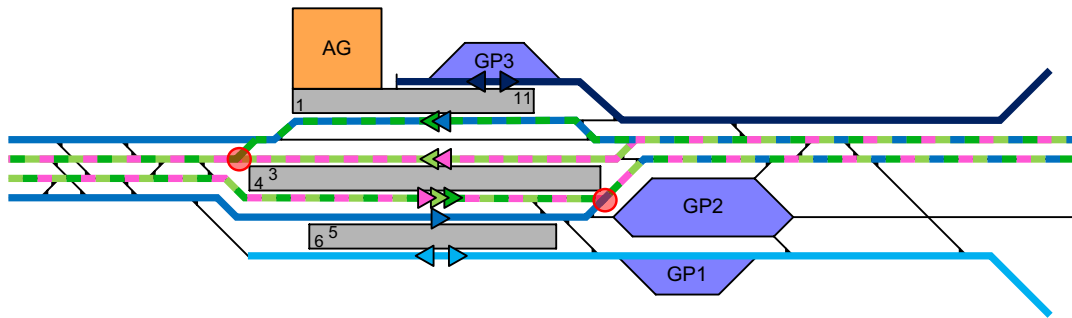


Abb. 3.15: Lokale Betrachtung der Linienführung, Ausgangslage

Zusammenfassung der potenziellen Konfliktpunkte

Tabelle 3.8 fasst die potenziellen Konfliktpunkte aus Abbildung 3.15 tabellarisch zusammen. Im Knoten Hütteldorf wird Gleichrang angenommen. Das bedeutet, dass keine Linie gegenüber anderen Linien Vorrang hat.

Sind an einer Stelle, wo ein potenzieller Konfliktpunkt lokalisiert ist, mehrere Linien involviert, so wird jeder Linie der gleiche potenzielle Konflikt einmal zugerechnet. Beispielsweise fädelt die Linie REX51, wenn sie Richtung Westen aus dem Knoten ausfährt, in den Verkehrsstrom der Linie IRX5 und WB ein. Dieser potenzielle Konflikt wird dreimal gezählt, je einmal für jede involvierte Linie. Die Mehrfachzählung des gleichen potenziellen Konflikts pro Linie spiegelt die Konflikthäufigkeit in einem Knoten wider.

In Tabelle 3.8 ist zu erkennen, dass die S50 und der REX51 in den meisten potenziellen Konflikten involviert sind. Zudem treten alle potenziellen Konflikte in Form von Einfädelungen auf. Ausfädelungen werden nicht mitgezählt, da diese in der Regel im Betrieb nicht zu potenziellen Konflikten führen.

Tab. 3.8: Konfliktpotenzial, Ausgangslage

Linie	K	E	gesamt
S45	0	1	1
S50	0	3	3
S80	0	1	1
REX51	0	3	3
IRX5	0	2	2
WB	0	2	2
			12

Die Tabelle 3.8 dient als Grundlage und Referenz für die Betrachtung der potenziellen Konflikte im Betriebskonzept im folgenden Kapitel.

Kapitel 4

Infrastruktur- und Betriebskonzept für den Knoten Hütteldorf

In diesem Kapitel wird ein Infrastruktur- und Betriebskonzept für Hütteldorf entwickelt. Die Planung der Infrastruktur und des Betriebsprogramms für einen Eisenbahnknoten ist ein iterativer Prozess. Während des iterativen Planungsprozesses wiederholen sich die gleichen Bearbeitungsschritte zur Annäherung an die bestmögliche Lösung für den Knoten. Die Anzahl der Wiederholungen der Planungsschritte beeinflusst u. a. Dauer und Umfang des gesamten Planungsprozesses.

Aufgrund des iterativen Prozesses kann die Dauer und der Umfang der Erarbeitung eines Konzeptes im Vorhinein nicht bestimmt werden. An dieser Stelle erfolgt anschließend an die Entwicklung eines Infrastruktur- und Betriebskonzepts für Hütteldorf eine Analyse des Konzeptes. Die Ergebnisse der Analyse des entwickelten Knotens für Hütteldorf können als Grundlage für eventuelle weitere Iterationsschritte dienen. Die folgenden Iterationsschritte werden hier nicht durchgeführt.

Das an dieser Stelle entwickelte Konzept stellt einen Verbesserungsvorschlag für den Knoten Hütteldorf, basierend auf zuvor definierten Anforderungen und Randbedingungen, die bestmöglich zu erfüllen sind. Das erarbeitete Konzept ist nicht als Ideallösung für Hütteldorf zu verstehen, aber als eine alternative Variante.

Zur Abgrenzung zum bestehenden Knoten Hütteldorf wird das hier erarbeitete Konzept auch als „fiktiver Knoten“ bezeichnet.

4.1 Entwicklung

Die Infrastruktur beeinflusst die Betriebsabwicklung und ein anzustrebendes Betriebsprogramm beeinflusst die Gestaltung der Infrastruktur. Aufgrund dieser Wechselwirkungen zwischen Infrastruktur und Betrieb werden das Infrastrukturkonzept und das Betriebskonzept nicht getrennt voneinander, sondern parallel zueinander entwickelt.

4.1.1 Randbedingungen und Anforderungen an den Knoten

Bevor konkrete Überlegungen zur Infrastruktur und zum Betrieb für den Knoten Hütteldorf angestellt werden, sind Randbedingungen festzulegen und Anforderungen an den fiktiven Knoten zu identifizieren. Unter den Randbedingungen sind jene Annahmen und Ansprüche an den fiktiven Knoten zu verstehen, die sich zwingend ergeben und somit unveränderlich sind. Zusätzlich zu den Randbedingungen werden bestimmte Anforderungen an den Knoten definiert, die bestmöglich zu erfüllen sind.

Randbedingungen

Für die Erarbeitung eines neuen Infrastruktur- und Betriebskonzepts für den Knoten Hütteldorf wird die Anzahl der Zulaufstrecken als Randbedingung festgesetzt. Es werden keine zusätzlichen Strecken hinzugefügt, noch werden bestehende Strecken entfernt. Basierend auf dieser Randbedingung wird die Anzahl der vorhandenen Gleise jeder Strecke nicht geändert. Von dieser Annahme ausgenommen ist die Verbindungsstrecke. Laut den ÖBB (2020) wird ab 2023 der Abschnitt der Strecke zwischen Hütteldorf und Meidling ausgebaut. Im Zuge dieser Ausbaumaßnahmen wird der eingleisige Abschnitt der Verbindungsstrecke zwischen Hütteldorf und Speising um ein zweites Gleis erweitert.

Als weitere Randbedingung wird die Beibehaltung des Aufnahmegebäudes des Knoten Hütteldorf festgelegt. Laut Bundesdenkmalamt (2020) steht das Bahnhofsgebäude unter Denkmalschutz. Jedoch ging aus der Recherche nicht hervor, ob die Bahnsteige samt ihrer Einrichtungen (z.B. Überdachung) im Denkmalschutz inbegriffen sind und somit Änderungen an der Bahnsteiganordnung unternommen werden dürfen. Im Zuge dieser Erarbeitung eines Infrastruktur- und Betriebskonzepts für den Knoten Hütteldorf wird die Anzahl und die Anordnung der Bahnsteige beibehalten.

Die folgende Auflistung fasst die Randbedingungen für die Erarbeitung des fiktiven Knotens zusammen:

- Die Anzahl und die Anordnung der Zulaufstrecken werden nicht geändert.
- Die Anzahl der Gleise auf den Zulaufstrecken wird, mit Ausnahme der Gleise auf der Verbindungsstrecke, nicht verändert. Die Zulaufstrecke der Verbindungsbahn wird zweigleisig anstatt eingleisig ausgeführt.
- Das bestehende Aufnahmegebäude in Hütteldorf wird aus Gründen des Denkmalschutzes beibehalten.
- Die bestehende Anzahl und die Anordnung der Bahnsteige wird beibehalten.

Anforderungen an den Knoten

Vor der Planung eines neuen Knotens sind Ziele für diesen Knoten zu definieren. Die angestrebten Ziele können von Knoten zu Knoten variieren. Aus den definierten Zielen lassen sich Anforderungen an den Knoten ableiten. Das übergeordnete Ziel der folgenden Knotenplanung ist es, die Bahn für den Fahrgast zu attraktivieren. Die Ansprüche des Fahrgastes an die Bahn umfassen u.a. kurze Wartezeiten, kurze Reisezeiten und keine Zwischenhalte (Thiel 2001, S.523). Diesen Ansprüchen ist bei der Planung eines Knotens möglichst nachzukommen. Aus diesen allgemeinen Ansprüchen lassen sich für die Entwicklung eines Infrastruktur- und Betriebskonzept für den Knoten Hütteldorf folgende Anforderungen ableiten:

- Maximierung der Direktfahrten
- optimales Taktangebot für den Fahrgast
- Verlagerung der potenziellen Konfliktpunkte in den Ausfahrbereich

Die aufgelisteten Anforderungen betreffen primär den Betrieb. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen Betrieb und Infrastruktur beeinflussen die aufgelisteten Anforderung

auch die Planung der Infrastruktur. Die an dieser Stelle angeführten Anforderungen stellen keine vollständige Auflistung dar. Vielmehr sind es Anforderungen an Betrieb und Infrastruktur, die im Zuge dieser Erarbeitung des Infrastruktur- und Betriebskonzepts prioritär berücksichtigt werden.

Durch die *Maximierung der Direktfahrten* kann ein verbessertes Verkehrsangebot für die Fahrgäste erreicht werden (Schnieder 2018, S.33). Bei der Erarbeitung eines Infrastruktur- und Betriebskonzepts für den Knoten Hütteldorf wird diese Anforderung durch Verlängerung von in Hütteldorf endenden Linien bzw. durch Verbindung verschiedener Strecken mittels Einführung neuer Linien berücksichtigt.

Die Forderung nach einem *optimalen Taktangebot für den Fahrgast* basiert u.a. auf dem Bedürfnis des Fahrgastes, zu einer selbstbestimmten Zeit und möglichst ohne Wartezeiten an sein Reiseziel zu gelangen (Thiel 2001, S.523). Somit wünscht sich der Fahrgast kurze zeitliche Abstände zwischen den Zügen einer Linie. Ein optimales Verkehrsangebot bzw. Taktangebot orientiert sich an die tatsächliche Verkehrsnachfrage des Fahrgastes (Schnieder 2018, S.47). Die Nachfrage wird u.a. mittels Fahrgastzählungen und Fahrgastbefragungen ermittelt (Schnieder 2018, S.47–48). Im Zuge der Erarbeitung des Infrastruktur- und Betriebskonzepts für Hütteldorf werden keine Fahrgastzählungen und Fahrgastbefragungen durchgeführt. An dieser Stelle wird unter „optimalem Taktangebot für den Fahrgast“ eine Ausweitung des Verkehrsangebots durch Taktverdichtungen verstanden. Anstelle der Fahrgastzählungen und Fahrgastbefragungen basiert die Verkürzung der Takte auf Ergebnisse von Pendleruntersuchungen aus der Literatur (vgl. Brezina et al. 2015).

In einem Knoten sind Wartezeiten, die aufgrund gegenseitiger Behinderung von Fahrstraßen anfallen, möglichst zu minimieren. Falls für die Züge aufgrund der gegenseitigen Behinderungen von Fahrstraßen Wartezeiten auftreten, so sollten die Züge nicht auf der freien Strecke, aber am Bahnsteig stehen. Die Wartezeit des Zuges am Bahnsteig wird somit für den Fahrgast als verlängerter Verkehrshalt wahrgenommen oder erlaubt ihm eine längere Umsteigezeit. Um die Wartezeiten zu minimieren bzw. die Wartezeit als verlängerte Verkehrshalte auszunützen, sollten sich Behinderungen der Fahrstraßen möglichst im Bereich der Ausfahrten befinden. (Pachl 2018, S.229) Dieses Prinzip der Verlagerung der Behinderung in den Bereich der Ausfahrten wird in der Erarbeitung eines Konzepts für Hütteldorf angewendet. Bei der Planung neuer Linienführungen für Hütteldorf werden *potenziellen Konfliktpunkte* möglichst *in den Ausfahrbereich der Linien zu verlagert*.

4.1.2 Bestimmung des Linienverlaufs durch den Knoten Hütteldorf

Bei der Bestimmung des Linienverlaufs durch den Knoten Hütteldorf wird eruiert, auf welchen Zulaufstrecken die Linien Hütteldorf erreichen und über, welche Strecken diese Linien den Knoten wieder verlassen. Im Vordergrund der Bestimmung des Linienverlaufs steht die Frage, welche Destinationen entlang der verschiedenen Strecken mittels Direktfahrten verbunden werden sollen. Die genaue Linienführung im Knoten, also welche Gleise und Bahnsteige die Züge der unterschiedlichen Linien bedienen, wird an dieser Stelle nicht betrachtet. Erst wenn der Linienverlauf feststeht, wird anschließend die genaue Linienführung im Knoten bestimmt.

Im bestehenden Betriebsprogramm befahren die Linien S50, REX51, IRX5 und WB die Strecken Hüttel – Unter Purkersdorf bzw. die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram. Diese Linien stellen Direktverbindungen zwischen Wien Westbahnhof mit den Destatio-

nen westlich von Wien dar. Die Linienverläufe der Linien S50, REX51, IRX5 und WB werden im folgenden Infrastruktur- und Betriebskonzept beibehalten. Die Linie S45, die die Vorortestrecke befährt, und die Linie S80, die die Verbindungsstrecke befährt, enden bzw. beginnen im Bahnhof Hütteldorf. Es bestehen keine Verbindungen der Vorortestrecke und der Verbindungsstrecke mittels Direktfahrten mit anderen Strecken in Hütteldorf.

Mit dem Anspruch, möglichst viele Direktfahrten zwischen den Destinationen unterschiedlicher Strecken zu ermöglichen, ergeben sich somit folgende Möglichkeiten der Streckenverbindungen mittels Direktfahrten:

- Verbindungsstrecke — Vorortestrecke
- Verbindungsstrecke — Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram
- Verbindungsstrecke — Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf
- Vorortestrecke — Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram
- Vorortestrecke — Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf

Die Strecken der Verbindungsbahn und der Vorortelinie verlaufen ab dem Frachtenbahnhof Penzing parallel bis Hütteldorf und treten im selben Bahnhofskopf in den Knoten ein. Fahrten zwischen der Vorortestrecke und der Verbindungsstrecke mittels Direktfahrten sind nur mit einem Wendehalt in Hütteldorf möglich. Zudem müssen Züge, die zwischen der Vorortestrecke und der Verbindungsstrecke verkehren, die Verkehrsströme der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram kreuzen. Eine Verlängerung der S45 Richtung Meidling bzw. der S80 Richtung Brigittenau über den Knoten Hütteldorf stellt daher keine Option für das folgende Konzept dar.

Laut Brezina et al. (2015, S.54–61) weist die Bahnachse im Westen von Wien, die u.a. die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf beinhaltet, das dritthöchste Bahn-Pendleraufkommen in und um Wien auf. Des Weiteren identifizieren Brezina et al. den Westbahnhof und Destinationen in der Wiener S-Bahn Kernzone (Praterstern, Wien Mitte-Landstraße und Wien Hauptbahnhof) und entlang der Südachse (Wien Meidling bis Wien Liesing) als die potenziell wichtigsten Reiseziele für Pendler aus dem Westen. Umgekehrt stellen Brezina et al. fest, dass potenzielle Pendler, deren Ziel entlang der westlichen Bahnachse liegt, aus dem Wiener S-Bahn Kern stammen. Aus dieser Analyse der Pendlerpotenziale lässt sich ableiten, dass Direktfahrten, die die Wiener S-Bahn-Stammstrecke und mit der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram bzw. mit der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf verbinden, eine Verbesserung des Verkehrsangebots für (potenzielle) Fahrgäste darstellen würde. Brezina et al. identifizieren ebenfalls Potenziale auf der Pendelroute zwischen Destinationen der Vorortestrecke und der westlichen Bahnachse. Im Vergleich zu den Pendelpotenzialen zwischen dem Weststrecken (Westbahnhof – Knoten Wagram, Hütteldorf – Unter Purkersdorf) und der Stammstrecke weisen die Pendelroute zwischen den Westen und der Vorortestrecke niedrigere Potenziale auf. Im folgenden Konzept wird daher nur eine Verlängerung der Linie S80 betrachtet, da im Vergleich zu einer Verlängerung der S45 dadurch ein höheres Potenzial abgeschöpft werden kann.

Die verlängerte S80 kann entweder über die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf oder über die Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram geführt werden. Die Entscheidung, welche Strecke die Linie S80 befahren soll, hängt u.a. davon ab, welche Haltestellen die S80

bedienen soll. Züge, die über die alte Westrecke geführt werden, können die Haltestellen zwischen Wolf in der Au und Purkersdorf Sanatorium nicht bedienen. Dafür ist im Knoten Hadersdorf ein unterirdischer Streckenwechsel in den Wienerwaldtunnel Richtung Tullnerfeld möglich. Bei einem Linienverlauf über die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf können alle Haltestellen zwischen Wolf in der Au und Purkersdorf Sanatorium bedient werden. Ein Wechsel in den Wienerwaldtunnel ist dabei nicht möglich. Die Frage, welche Haltestellen bedient werden sollen, hängt u.a. von der Fahrgastnachfrage ab. Im Rahmen der Erarbeitung eines Konzepts für Hütteldorf werden keine Fahrgastbefragungen oder -zählungen durchgeführt. Als Entscheidungsgrundlage dient stattdessen die ermittelten Pendlerpotenziale von Brezina et al. (2015, S.62) entlang der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram und der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf. Laut Brezina et al. liegt ein höheres Pendelpotenzial entlang der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf vor. Für das folgende Konzept wird die Linie S80 auf die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf verlängert.

Zusammenfassend ergibt sich für Hütteldorf der Linienverlauf wie in Abbildung 4.1 dargestellt. Die Farbgebung der Linien entspricht jener aus Abbildung 3.14. Die Linien REX51, IRX5 und WB werden farblich zusammengefasst. Der Linienverlauf der S45, S50, REX51, IRX5 und WB werden beibehalten. Die Linie S80 wird auf die Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf verlängert.

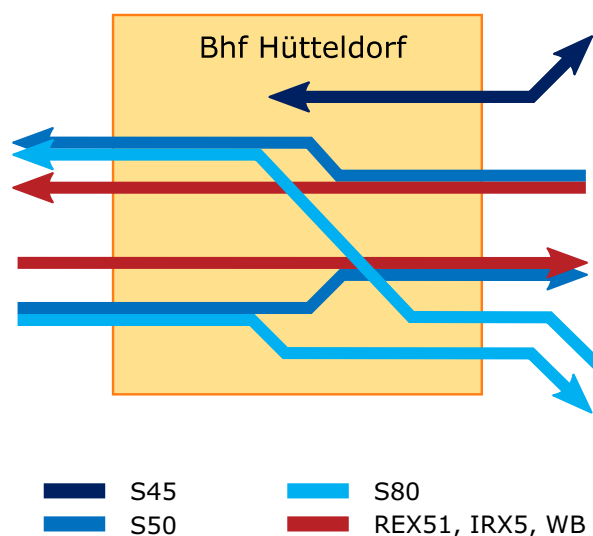


Abb. 4.1: Linienverlauf durch den fiktiven Bahnhof Hütteldorf

4.1.3 Findung von Linienführungen im Knoten

Nach der Bestimmung des Linienverlaufs durch den Knoten wird anschließend die genaue Linienführung im Knoten gesucht. An dieser Stelle wird ermittelt, wie die Linienführungen der einzelnen Linien zueinander geführt werden und welche Bahnsteige bedient werden. Die ermittelte Linienführung im Knoten dient als Grundlage für die Entwicklung eines Infrastrukturkonzepts für Hütteldorf.

Für Hütteldorf bieten sich viele Lösungen der Linienführung an. Da nicht jede einzelne Lösungsmöglichkeit untersucht werden kann, wird im Folgenden eine Auswahl an unterschiedlichen Linienführungen vorgestellt. Die entwickelten Varianten werden miteinander verglichen.

Variante 1

Abbildung 4.2 stellt die erste Variante für eine mögliche Linienführung im Knoten Hütteldorf dar. In dieser Variante fährt die Linie S45 Bahnsteig 11 an. Die Linien S50, REX51, IRX5 und WB in Richtung Ost-West bedienen Bahnsteig 1. In Richtung West-Ost halten die Züge der Linien REX51, IRX5 und WB an Bahnsteig 3 und die Züge der Linie S50 an Bahnsteig 4. Die Linie S80 bedient Bahnsteig 5 und 6. Da die Linien REX51, IRX5 und WB die gleiche Linienführung im Knoten besitzen, werden diese Linien zur Übersichtlichkeit farblich zusammengefasst (vgl. Farbgebung in Abbildung 4.1).

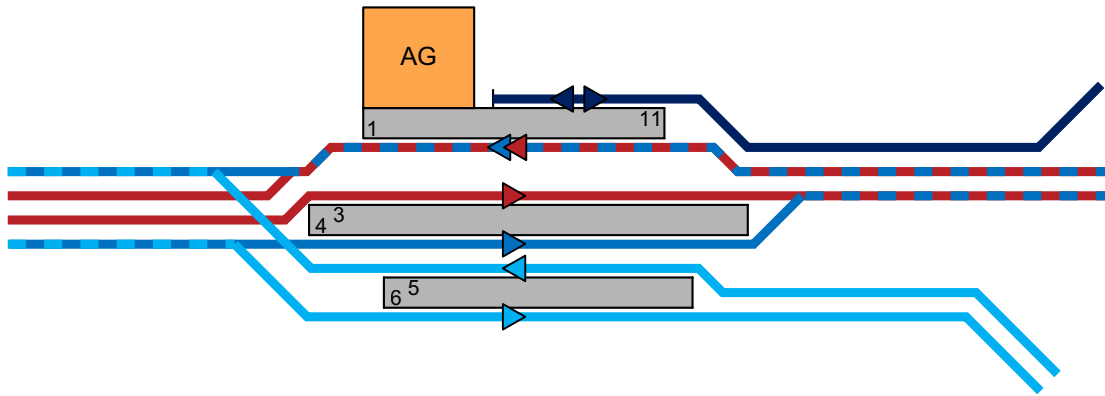


Abb. 4.2: Linienführung im Knoten Hütteldorf, Variante 1

Variante 2

In Variante 2 (Abbildung 4.3) bedient die Linie S45 Bahnsteig 11 und die Linie S80 die Bahnsteige 5 und 6. Im Unterschied zu Variante 1 wird Bahnsteig 1 nur von der Linie S50 in Richtung Ost-West befahren. Bahnsteig 3 wird von den Linien REX51, IRX5 und WB in Richtung Ost-Westen bedient. Züge der Linien S50, REX51, IRX5 und WB in West-Ost-Richtung halten an Bahnsteig 4.

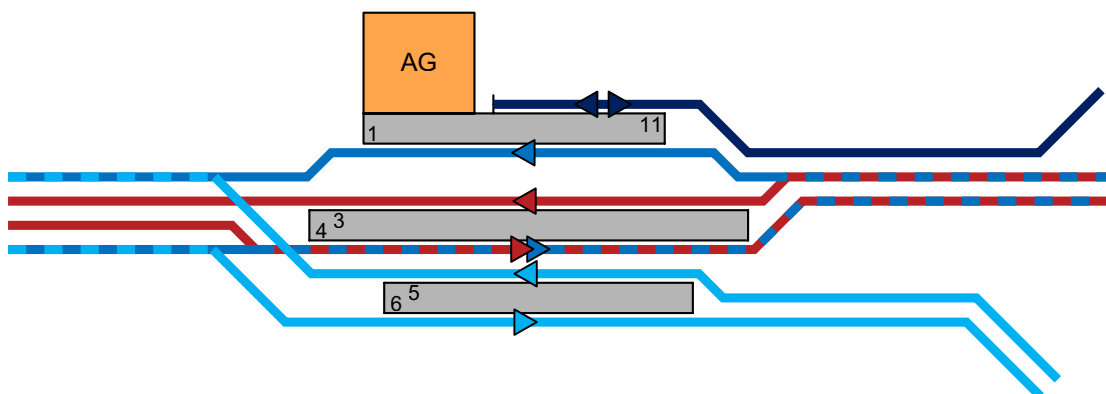


Abb. 4.3: Variante 2

Variante 3

Variante 3 (Abbildung 4.4) gleicht Variante 2 mit dem einzigen Unterschied, dass die Linie S50 in Richtung West-Ost an Bahnsteig 6 statt an Bahnsteig 4 hält.

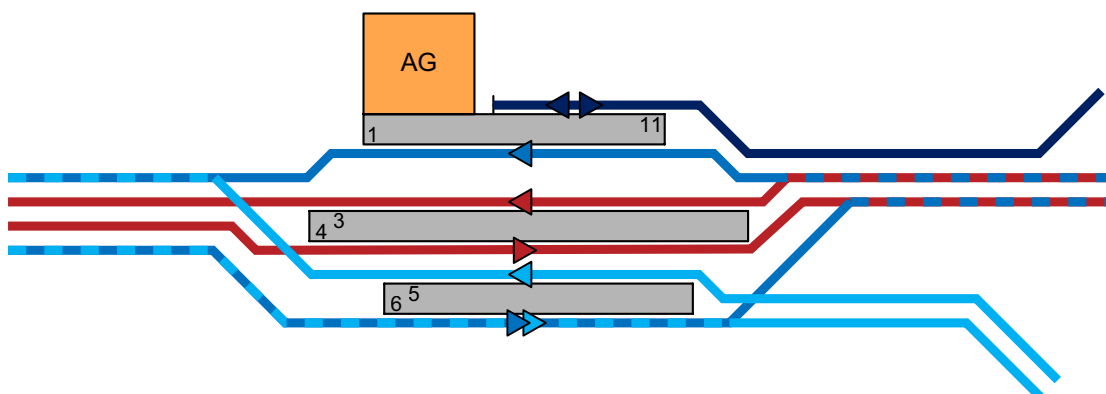


Abb. 4.4: Variante 3

Variante 4

In Variante 4 (Abbildung 4.5) hält die Linie S45 wie schon in den Varianten 1 bis 3 an Bahnsteig 11. Im Gegensatz zu den anderen Varianten hält die Linie S80 von Meidling Richtung Unter Purkersdorf gemeinsam mit der Linie S50 aus Wien Westbahnhof an Bahnsteig 1. Züge der S80 kommend aus Unter Purkersdorf befahren Bahnsteig 6. Die Linien REX51, IRX5 und WB bedienen Bahnsteig 3 und 4. Die Linie S50 bedient Bahnsteig 5.

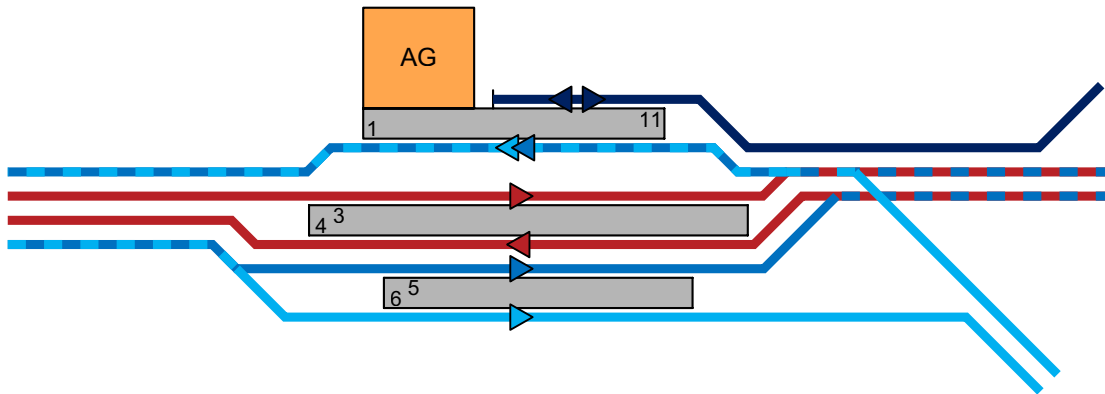


Abb. 4.5: Variante 4

4.1.4 Verkehrsstromanalyse und Vergleich der Varianten

Um die verschiedenen Varianten der Linienführung untereinander vergleichen zu können, werden Verkehrsstromanalysen durchgeführt. Im ersten Schritt werden die Stellen potenzieller Konflikte lokalisiert. Im zweiten Schritt wird die Anzahl der potenziellen Konflikte quantifiziert und tabellarisch aufgelistet.

In Abbildung 4.6 sind die Stellen potenzieller Konflikte der Variante 1 eingezeichnet. Es ist zu sehen, dass vor allem entlang der Linie S80 Richtung Unter Purkersdorf Stellen mit potenziellen Konflikten in Form von Kreuzungen auftreten. Neben den potenziellen Konfliktpunkten entlang der S80 taucht auch an der S50 Richtung Osten ein potenzieller Konfliktpunkt auf zufolge der Einfäderung der S80 in den Verkehrsstrom der Linien REX51, IRX5 und WB.

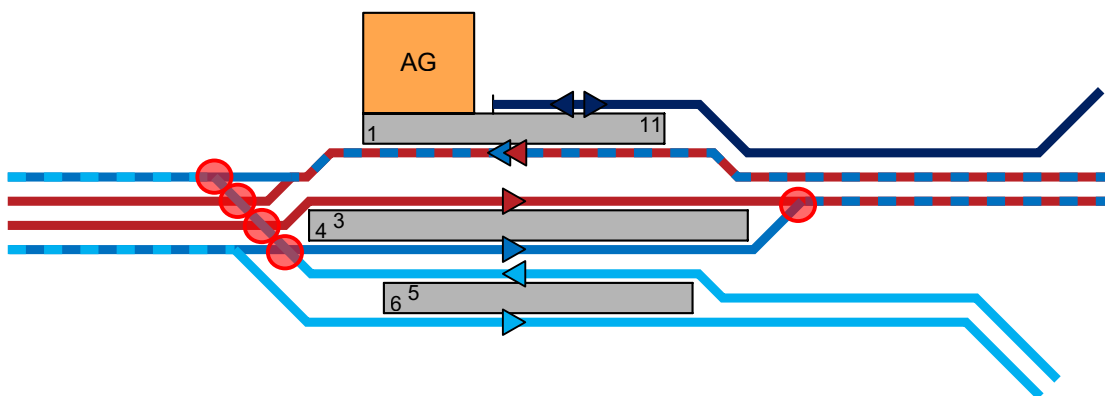


Abb. 4.6: Konflikte Variante 1

In Variante 2 (Abbildung 4.7) treten potenzielle Konfliktpunkte nur im westlichen Bahnhofskopf auf. Im Gegensatz zur Variante 1 bedienen die Linien S50, REX51, IRX5 und WB den gleichen Inselbahnsteig. Die Verkehrsströme von der Strecke Westbahnhof

- Knoten Wagram und von der Strecke Unter Purkersdorf werden vor Erreichen des Bahnsteigs 4 zusammengeführt und es tritt ein potenzieller Konflikt in Form einer Einfädelung auf. Ähnlich wie in Variante 1 häufen sich vor allem entlang der Linie S80 Richtung Westen potenzielle Konfliktpunkte.

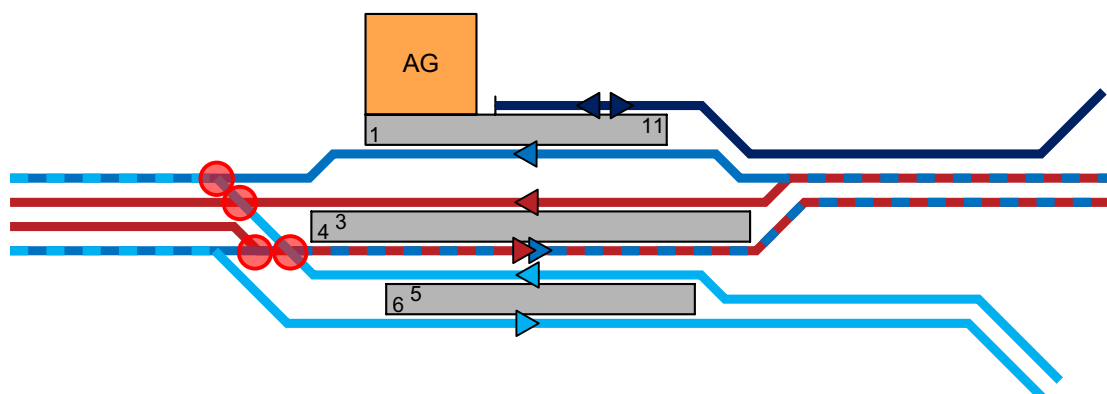


Abb. 4.7: Konflikte Variante 2

Abbildung 4.8 stellt die Stellen potenzieller Konflikte der Variante 3 dar. Die Linie S50 in West-Ost-Richtung bedient gemeinsam mit der Linie S80 Bahnsteig 6. Zum Erreichen der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram Richtung Westbahnhof muss die Linie S50 im östlichen Bahnhofskopf die Linie S80 kreuzen und anschließend in den Verkehrsstrom der Linien REX51, IRX5 und WB einfädeln. Auch bei dieser Variante ist eine Häufung potenzieller Konfliktpunkte entlang der S80 Richtung Unter Purkersdorf zu erkennen.

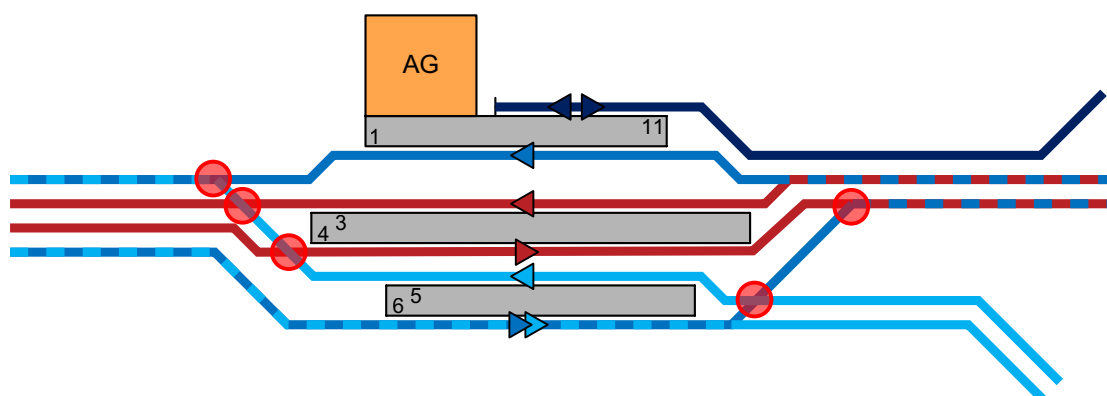


Abb. 4.8: Konflikte Variante 3

In Variante 4 (Abbildung 4.9) befinden sich alle Stellen potenzieller Konflikte im östlichen Bahnhofskopf. Auch hier treten vor allem entlang der Linie S80 Richtung potenzielle Konfliktpunkte auf.

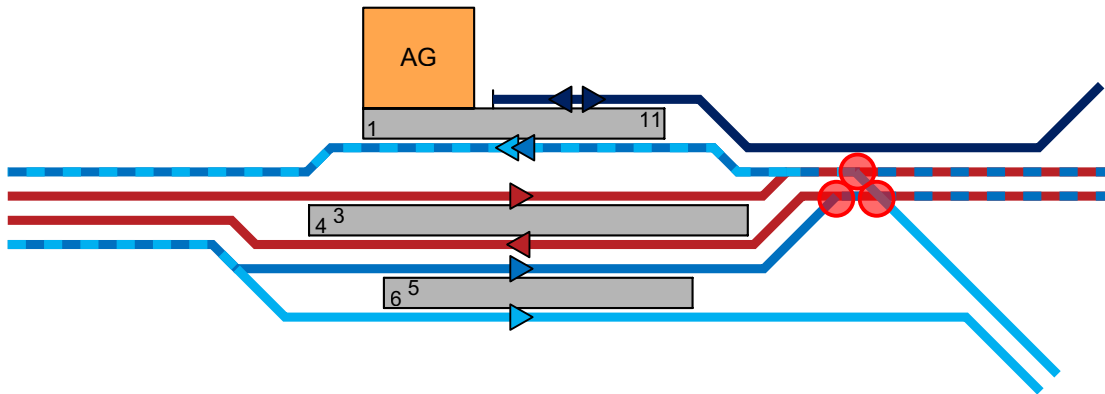


Abb. 4.9: Konflikte Variante 4

Zusammenfassung der Konfliktpunkte

Die Tabellen 4.1 bis 4.4 listen das Konfliktpotenzial der Varianten 1 bis 4 auf. Die potenziellen Konfliktpunkte, die entlang einer Linie auftreten, werden aufsummiert und in weiterer Folge wird das Konfliktpotenzial entlang der Linien wiederum aufsummiert und erhält das Gesamtkonfliktpotenzial im Knoten. Es ist zu erkennen, dass alle vier Varianten das gleiche Konfliktpotenzial aufzeigen. Aus dieser Analysemethode geht keine Variante hervor, die aus betrieblicher Sicht zu bevorzugen wäre.

Tab. 4.1: Konflikte Variante 1

Linie	K	E	A	gesamt
S45	0	1	1	2
S50	1	4	0	5
S80	7	1	0	8
REX51	2	1	0	3
IRX5	2	1	0	3
WB	2	1	0	3
				24

Tab. 4.2: Konflikte Variante 2

Linie	K	E	A	gesamt
S45	0	1	1	2
S50	1	4	0	5
S80	7	1	0	8
REX51	2	1	0	3
IRX5	2	1	0	3
WB	2	1	0	3
				24

Eine der festgelegten Anforderungen an das Betriebskonzept für Hütteldorf aus Kapitel 4.1.1 betrifft die Lage potenzieller Konfliktpunkte. So sollen die auftretenden potenziellen

Tab. 4.3: Konflikte Variante 3

Linie	K	E	A	gesamt
S45	0	1	1	2
S50	1	4	0	5
S80	7	1	0	8
REX51	2	1	0	3
IRX5	2	1	0	3
WB	2	1	0	3
				24

Tab. 4.4: Konflikte Variante 4

Linie	K	E	A	gesamt
S45	0	1	1	2
S50	1	4	0	5
S80	7	1	0	8
REX51	2	1	0	3
IRX5	2	1	0	3
WB	2	1	0	3
				24

Konfliktpunkte möglichst im Bereich der Ausfahrten, also nach einem Verkehrshalt im Knoten, auftreten. Die Tabellen 4.5 bis 4.8 fassen das Konfliktpotenzial aller Varianten zusammen, wobei unterschieden wird, ob die potenziellen Konflikte im Einfahr- oder Ausfahrbereich der jeweiligen Linien auftreten. In der letzten Zeile der Tabellen ist die Summe der potenziellen Konflikte im Einfahr- bzw. Ausfahrbereich aller Linien angegeben. Eine Unterteilung der Konfliktpunkte nach ihrem relativen Ort des Auftretens (Einfahr- bzw. Ausfahrbereich) erlaubt eine bessere Einschätzung, ob bei Auftreten von Verspätungen oder Betriebsstörungen Züge tendenziell auf der freien Strecke oder am Bahnsteig im Knoten warten müssen, bis die Behinderungen beseitigt sind.

Tabelle 4.5 zeigt das Konfliktpotenzial der Linienführung in Variante 1. Bei dieser Linienführung treten potenzielle Konflikte mehrheitlich im Ausfahrbereich der Linien auf. Bei Betrachtung der einzelnen Linien spiegelt sich dieses Verhalten wider. Bei jeder Linie, ausgenommen der Linie S45, treten mehr potenzielle Konflikte im Ausfahrbereich auf als im Einfahrbereich. Die Linie S45 stellt eine Ausnahme dar. Die potenziellen Konflikte entlang der S45 werden nicht aufgrund von Interaktionen mit anderen Linien hervorgerufen. Die Linie S45 verkehrt zwischen Hütteldorf und Penzing auf einem eingleisigen Abschnitt. Ein Zug der S45, der in Penzing vom zweigleisigen Abschnitt auf den eingleisigen Abschnitt der Strecke Richtung Hütteldorf fährt, muss in den entgegen gerichteten Verkehrsstrom der eigenen Linie einfädeln. Befindet sich bereits ein Zug der S45 im eingleisigen Abschnitt zwischen Hütteldorf und Penzing, so muss bei der gewählten Linienführung in Variante 1 ein zweiter Zug der S45, der in Penzing in den eingleisigen Abschnitt einfahren möchte, auf den ersten Zug warten, bis dieser den eingleisigen Abschnitt verlässt. Aus der Sicht des einfahrenden Zuges aus Penzing befindet sich der potenzielle Konfliktpunkt in seinem Einfahrbereich.

Tab. 4.5: Konflikte Lage Variante 1

Linie	Bereich	K	E	A	gesamt
S45	Einfahrt	0	1	0	1
	Ausfahrt	0	0	1	1
S50	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	0	4	0	4
S80	Einfahrt	0	0	0	0
	Ausfahrt	7	1	0	8
REX51	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
IRX5	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
WB	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
gesamt	Einfahrt				5
	Ausfahrt				19

In Tabelle 4.6 sind die potenziellen Konflikte der Variante 2 nach ihrer relativen Lage des Auftretens entlang einer Linie aufgelistet. Im Gegensatz zu Variante 1 treten in Variante 2 im Einfahr- und im Ausfahrbereich der Linien ungefähr gleich viele potenzielle Konflikte auf. Ein Vergleich mit Tabelle 4.5 (Variante 1) zeigt, dass sich für die Linien S50, REX51, IRX5 und WB in Variante 2 die Konflikte in den Einfahrbereich verlagern.

Tab. 4.6: Konflikte Lage Variante 2

Linie	Bereich	K	E	A	gesamt
S45	Einfahrt	0	1	0	1
	Ausfahrt	0	0	1	1
S50	Einfahrt	1	3	0	4
	Ausfahrt	0	1	0	1
S80	Einfahrt	0	0	0	0
	Ausfahrt	7	1	0	8
REX51	Einfahrt	1	1	0	2
	Ausfahrt	1	0	0	1
IRX5	Einfahrt	1	1	0	2
	Ausfahrt	1	0	0	1
WB	Einfahrt	1	1	0	2
	Ausfahrt	1	0	0	1
	Einfahrt				11
	Ausfahrt				13

Für die Linienführung in Variante 3 treten im Ausfahrbereich im Vergleich zum Einfahrbereich mehr potenzielle Konflikte auf (vgl. Tabelle 4.7). Ein Vergleich mit Variante 1 (Tabelle 4.5) zeigt, dass sich die Verteilungen der potenziellen Konflikte in den einzelnen Linien unterscheiden, aber die Gesamtverteilung der Lage der potenziellen Konflikte in den beiden Varianten gleich ist.

Tab. 4.7: Konflikte Lage Variante 3

Linie	Bereich	K	E	A	gesamt
S45	Einfahrt	0	1	0	1
	Ausfahrt	0	0	1	1
S50	Einfahrt	0	0	0	0
	Ausfahrt	1	4	0	5
S80	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	6	1	0	7
REX51	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
IRX5	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
WB	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
Einfahrt					5
Ausfahrt					19

Tabelle 4.8 zeigt die potenziellen Konflikte der Variante 4 aufgeteilt nach ihrer relativen Lage ihres Auftretens entlang der verschiedenen Linien. Im Vergleich zu den Linienführungen in den Varianten 1 bis 3 treten bei der gewählten Linienführung dieser Variante insgesamt mehr potenzielle Konfliktpunkte im Einfahr- als im Ausfahrbereich auf. Bei Untersuchung der Lage der potenziellen Konflikte entlang der einzelnen Linien wird erkenntlich, dass die Häufung der potenziellen Konflikte im Einfahrbereich in Variante 4 der Linie S80 zuzurechnen ist.

Tab. 4.8: Konflikte Lage Variante 4

Linie	Bereich	K	E	A	gesamt
S45	Einfahrt	0	1	0	1
	Ausfahrt	0	0	1	1
S50	Einfahrt	0	1	0	1
	Ausfahrt	1	3	0	4
S80	Einfahrt	7	1	0	8
	Ausfahrt	0	0	0	0
REX51	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
IRX5	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
WB	Einfahrt	1	0	0	1
	Ausfahrt	1	1	0	2
Einfahrt					13
Ausfahrt					11

Alle vier Varianten besitzen das gleiche Gesamtkonfliktpotenzial (vgl. Tabelle 4.1 bis 4.4). Die Tabellen 4.5 bis 4.8 geben ebenfalls das Konfliktpotenzial wieder, wobei differenziert wird, ob der potenzielle Konfliktpunkt im Einfahr- oder Ausfahrbereich der Linie liegt. Hinsichtlich der Anforderung aus Kapitel 4.1.1, dass potenzielle Konflikte möglichst

im Bereich der Ausfahrten auftreten sollen, sind die Linienführungen in Variante 1 und 3 für den Knoten Hütteldorf vorzuziehen. Die Varianten 1 und 3 weisen bei gleicher Gesamtanzahl an potenziellen Konflikten im Vergleich zu Variante 2 und 4 die wenigsten potenzielle Konfliktpunkte im Einfahrbereich auf.

Aus der Verkehrsstromanalyse geht nicht hervor, ob die Linienführung in Variante 1 oder jene in Variante 3 hinsichtlich der Lage der auftretenden potenziellen Konfliktpunkte vorzuziehen ist. Für die weitere Erarbeitung des Infrastruktur- und Betriebskonzepts wird die Linienführung in Variante 3 gewählt.

4.1.5 Konzept zur Infrastruktur

Zur Umsetzung der Zugfahrten, die durch die Linienführung in Variante 3 bestimmt sind (vgl. Abbildung 4.4), ist eine dafür angepasste Infrastruktur notwendig. Das Gleisschema in Abbildung 4.10 stellt eine Infrastrukturkonzept für die Linienführung aus Variante 3 dar. Das vorliegende Gleisschema beinhaltet nur all jene Infrastruktureinheiten, die zur Durchführung des Regelbetriebs, basierend auf der vorgegebene Linienführung der Variante 3, unbedingt notwendig sind. Zusätzliche Gleisverbindungen, die für geänderte Betriebsabläufe im Fall von Störungen eventuell nötig sind, sind nicht eingezeichnet. So ist aus dem Gleisschema in Abbildung 4.10 zu erkennen, dass für den Regelbetrieb beispielsweise eine Verknüpfung der Vorortetrestrecke (Gleis 11 bzw. 211) mit den anderen Strecken (z.B. Gleis 1 bis 6) in Hütteldorf nicht notwendig ist.

In Folge von Untersuchungen von Störungsszenarien können zusätzliche Gleisverbindungen ermittelt werden, die Änderungen in der Betriebsabwicklung im Störfall erlauben. An dieser Stelle werden keine weiterführenden Untersuchungen zu möglichen Störungsszenarien und daraus resultierenden Abänderungen in der Betriebsdurchführung durchgeführt.

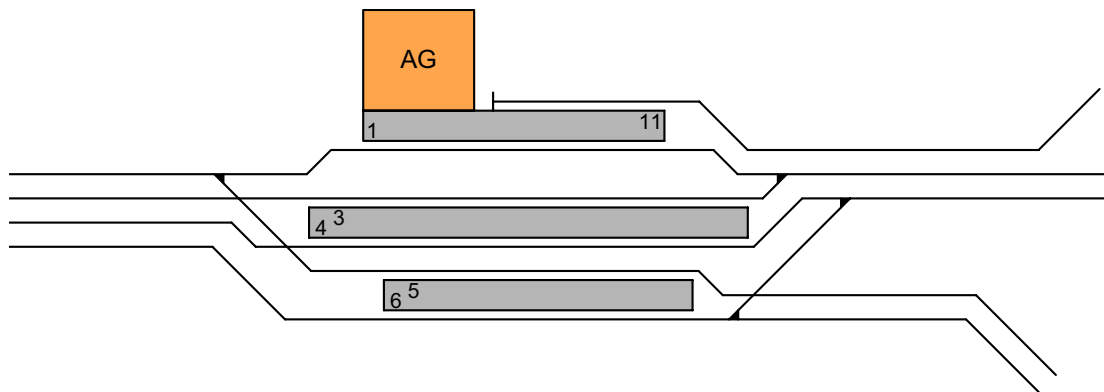


Abb. 4.10: Infrastruktur Variante 3

4.1.6 Findung des Taktschemas

Das Taktschema für den fiktiven Knoten in Hütteldorf orientiert sich an die Anforderung, ein *optimales Taktangebot für den Fahrgast* zu finden (vgl. Kapitel 4.1.1). Die Findung eines optimalen Taktangebots für den Fahrgast basiert auf die Verkehrsnachfrage des Fahrgastes, die u.a. durch Fahrgastzählungen und -befragungen ermittelt wird (Schnieder 2018, S.47–48). Da an dieser Stelle keine Fahrgastzählungen und -befragungen durchgeführt werden, orientiert sich stattdessen das folgende Taktangebot an einer Ausweitung

des Verkehrsangebot durch Taktverdichtungen. Das gewählte Taktschema für den fiktiven Knoten in Hütteldorf ist in Tabelle 4.9 zu sehen.

Tab. 4.9: Taktschema für den fiktiven Knoten in Hütteldorf

Zug	Takt
S45	7 – 8 Minuten
S50	15 Minuten
S80	15 Minuten
REX51	30 Minuten
IRX5	30 Minuten
WB	60 Minuten

Für das Betriebskonzept für Hütteldorf werden Taktverdichtungen der Linien S45 und S80 vorgenommen. Im Vergleich zum bestehenden Taktschema in Hütteldorf wird der Takt der S45 von 10 Minuten auf 7 bis 8 und von der S80 von 30 Minuten auf 15 Minuten verkürzt (vgl. Tabellen 3.3 und 4.9). Da die Linie S80 im vorliegenden Betriebs- und Infrastrukturkonzept Richtung Westen verlängert wird, verkehren aufgrund der Taktverdichtung nicht nur auf der Verbindungsstrecke, sondern auch auf dem Abschnitt Hütteldorf – St. Pölten insgesamt mehr Züge pro Stunde.

4.1.7 Fahrplan

Basierend auf dem Taktschema kann ein Fahrplan erstellt werden. Abbildung 4.11 stellt einen möglichen Fahrplan für den fiktiven Knoten in Hütteldorf in Form einer Fahrplankarte graphisch dar. In der Darstellung sind die benachbarten Bahnhöfe Unter Purkersdorf und Wien Penzing zur Orientierung angedeutet.

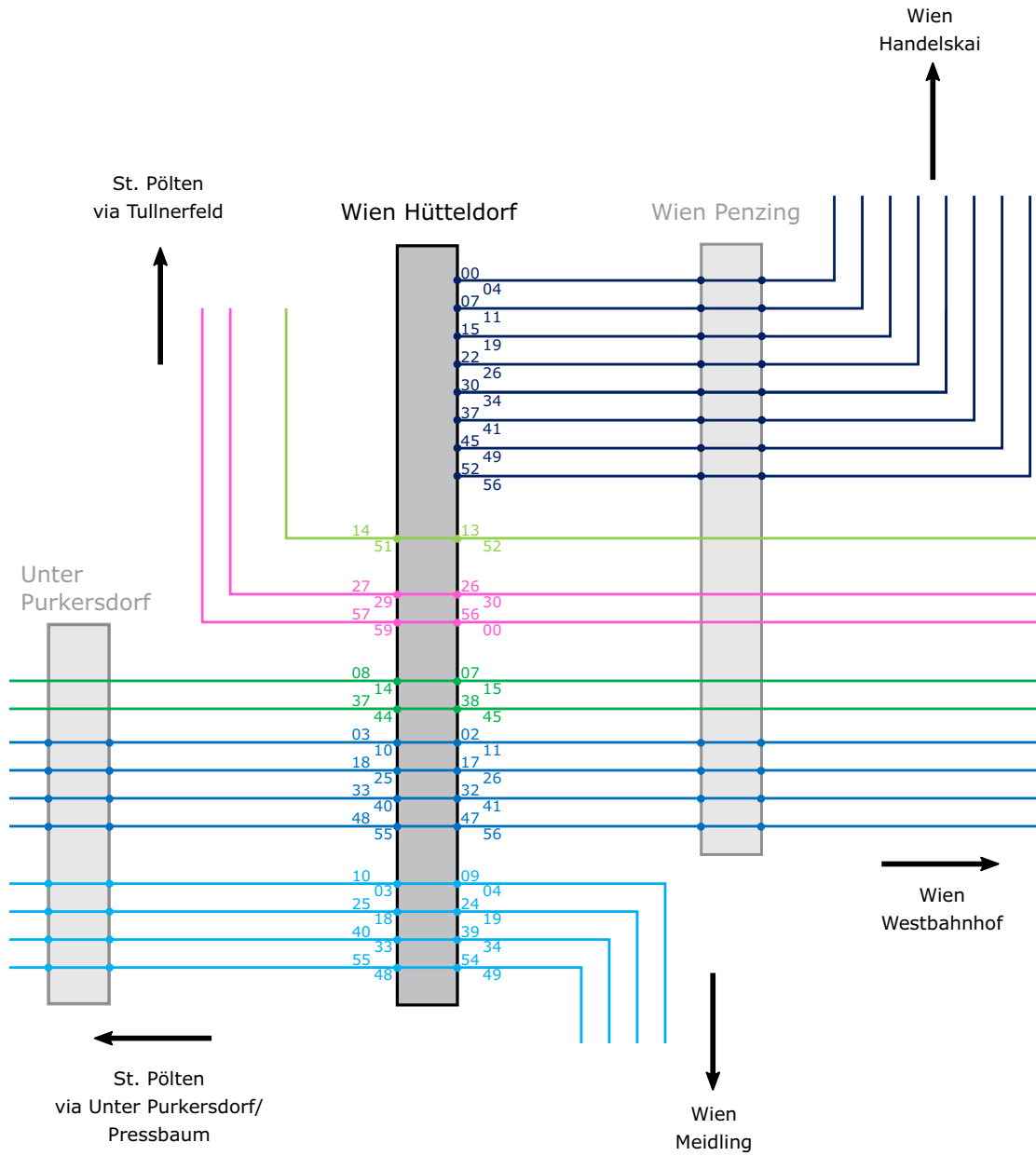


Abb. 4.11: Fahrplankarte für den fiktiven Knoten in Hütteldorf

Aus der Fahrplankarte gehen die stündlichen Zugbewegungen je Linie und Fahrtrichtung hervor, die in Tabelle 4.10 zusätzlich aufgelistet sind. So ist zu erkennen, dass mit den Linien S50, REX51, IRX5 und WB viele Verbindungen zwischen St. Pölten und Hütteldorf vorhanden sind, wobei die Linien S50, S80 und REX51 über Unter Purkersdorf bzw. Pressbaum und die Linien IRX5 und WB über Tullnerfeld verlaufen.

Die Fahrplankarte in Abbildung 4.11 erlaubt zudem einen Überblick über die Anbindungsmöglichkeiten bzw. über die Gewährleistung von Anschlüssen im Knoten Hütteldorf. Die hohe Verkehrsdichte auf der Achse Hütteldorf – St. Pölten über Unter Purkersdorf bzw. Pressbaum (10 Züge pro Stunde je Fahrtrichtung) und auf der Achse der Vorortestrecke (8 Züge pro Stunde je Fahrtrichtung) erlaubt eine vergleichsweise hohe Verfügbarkeit an Anbindungsmöglichkeiten zwischen diesen beiden Verkehrsachsen. Von Hütteldorf nach St. Pölten über Tullnerfeld verkehren insgesamt 3 Züge pro Stunde und je Fahrtrichtung (IRX und WB). Die niedrigere Verkehrsdichte auf diesem Abschnitt bietet ein vergleichsweise geringeres Angebot an Anschlüssen Richtung St. Pölten über Tullnerfeld.

Tab. 4.10: Zugbewegungen pro Stunde je Fahrtrichtung und Linie

Linie	Zugzahlen
S45	8
S50	4
S80	4
REX51	2
IRX5	2
WB	1

4.2 Analyse des fiktiven Knotens

Um den bestehenden Knoten in Hütteldorf mit dem fiktiven Knoten vergleichen zu können, wird der fiktive Knoten mit dem Bewertungswerzeug aus Kapitel 2.3.3 (Knoten Kennwerte) und 2.4.2 (Verkehrstromanalyse) untersucht. Anschließend werden die Ergebnisse der Analyse des fiktiven Knotens mit jenen Ergebnissen des bestehenden Knotens aus Kapitel 3.3 verglichen.

4.2.1 Knoten Kennwerte

Infrastrukturelle Kennwerte

Im Vergleich zum bestehenden Knoten Hütteldorf ist die Zulaufstrecke der Verbindungsbahn im fiktiven Knoten zweigleisig statt eingleisig ausgeführt. Somit ändert sich hinsichtlich der *Knotentypisierung* der bestehende Knoten von einem (3+2)–Knoten zu einem (4+1)–Knoten (vgl. Abbildung 3.3 und 4.12).

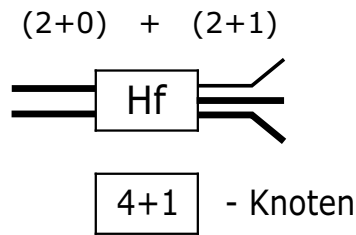


Abb. 4.12: Typisierung des fiktiven Knotens Wien Hütteldorf

Tabelle 4.11 fasst die *Infrastruktureinheiten* des fiktiven Knotens zusammen (vgl. Abbildung 4.10). Ein Vergleich mit dem Bestand (Tabelle 3.2) zeigt, dass der fiktive Knoten deutlich weniger Infrastruktureinheiten besitzt. Das liegt zum einen an der Tatsache, dass für das Infrastrukturkonzept nur jene Infrastruktureinheiten eingezeichnet sind, die für den Regelbetrieb nötig sind. Zum anderen besitzt der bestehende Knoten Hütteldorf eine Vielzahl an Infrastruktureinheiten, die für die Abwicklung des Regelbetriebs im Personenverkehr nicht notwendig sind. Somit ist ein Vergleich des bestehenden und des fiktiven Knotens in Hütteldorf mithilfe des Kennwerts der Infrastruktureinheiten in diesem Fall wenig aussagekräftig.

Tab. 4.11: Kennwert Infrastruktureinheiten des fiktiven Knotens

Infrastruktureinheiten	
Hauptgleise	6
davon durchgehende Hauptgleise	3
Nebengleise	0
einfache Weichen	4
Doppelkreuzungsweichen	0
Kreuzungen	3
Bahnsteige	6

Zur Ermittlung des *Verknüpfungsgrades* Abbildung 4.13 wird die Formel 2.1 angewendet. Im vorliegenden Gleisschema des fiktiven Knotens in Hütteldorf sind insgesamt vier Weichen vorhanden (vgl. Abbildung 4.10). Abbildung 4.13 stellt das Gleisschema des fiktiven Knotens in Hütteldorf aus Abbildung 4.10 dar, wobei zusätzlich all jene Gleisverbindungen eingezeichnet sind, die für eine vollständige Verknüpfung notwendig sind.

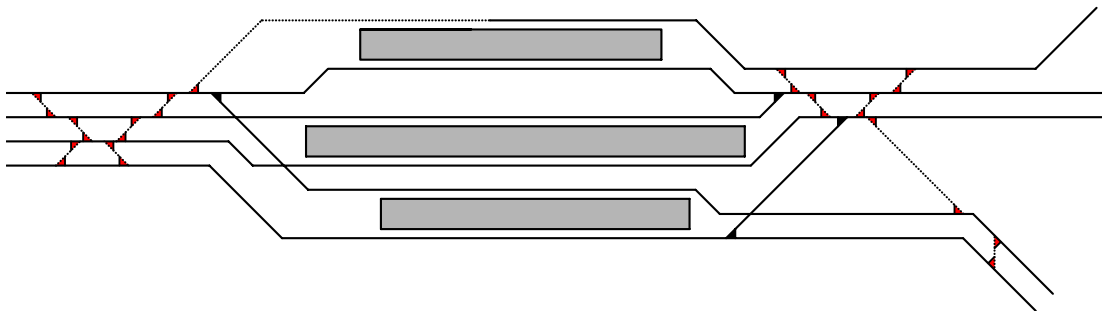


Abb. 4.13: Erforderliche Weichen für eine vollständige Verknüpfung des fiktiven Knotens

Für eine vollständige Verknüpfung sind mindestens 27 zusätzliche Weichen notwendig. Somit ergibt sich für den fiktiven Knoten ein Verknüpfungsgrad von 0,129 (vgl. Gleichung 4.1). Im Vergleich zum bestehenden Knoten in Hütteldorf (vgl. Gleichung 3.1 bzw. 3.2) weist der fiktive Knoten einen deutlich geringeren Verknüpfungsgrad auf. Ähnlich wie beim Kennwert der Infrastruktureinheiten ist der Kennwert des Verknüpfungsgrades in diesem Fall wenig aussagekräftig. Im fiktiven Knoten sind nur all jene Infrastruktureinheiten und somit auch nur all jene Gleisverbindungen gegeben, die für die Abwicklung des Regelbetriebs notwendig sind. Der bestehende Knoten in Hütteldorf besitzt Gleisverbindungen, die zwar im Regelbetrieb nicht befahren werden, aber zur Verknüpfung der Strecken beitragen. Zusätzliche Gleisverbindungen, die nicht für den Regelbetrieb vorgesehen sind, aber gegebenenfalls zur Betriebsabwicklung im Störfall notwendig sind, können zu einem höheren Verknüpfungsgrad beitragen. Für die Abwicklung des Regelbetriebs im fiktiven Knoten ist eine vollständige Verknüpfung ($n=1$) nicht notwendig.

$$n = \frac{\sum n_{W,vorh}}{\sum n_{W,i}} = \frac{4}{31} = 0,129 \quad (4.1)$$

Die infrastrukturellen Kennwerte erlauben in diesem Fall keinen aussagekräftigen Vergleich zwischen dem bestehenden und dem fiktiven Knoten in Hütteldorf. Zum einen liegt das daran, dass für den fiktiven Knoten nur jene Infrastruktureinheiten eingeplant sind, die für die Abwicklung des Regelbetriebs notwendig sind. Infrastruktureinheiten, die im Fall von abgeänderten Betriebsabläufen zufolge von Betriebsstörungen notwendig sind, sind nicht eingeplant. Zum anderen besitzt der bestehende Knoten in Hütteldorf Infrastruktureinheiten, die im gegenwärtigen Regelbetrieb nicht benutzt werden. Beim Vergleich der infrastrukturellen Kennwerte beider Knoten erscheint der fiktive Knoten demnach deutlich kleiner als der bestehende Knoten.

Die infrastrukturellen Kennwerte können demnach ein verzerrtes Bild eines Knotens wiedergeben. Vor allem Knoten, die eine Vielzahl an unbenutzten Gleisen und Weichen besitzen, werden durch die infrastrukturellen Kennwerte tendenziell größer dargestellt als es z.B. ihrer verkehrlichen Bedeutung entspricht.

Verkehrliche Kennwerte

Die verkehrlichen Kennwerte erlauben eine Übersicht der verkehrlichen Merkmale in einem Knoten.

In der Tabelle 4.12 ist die Anzahl der Zugbewegungen pro Stunde im fiktiven Knoten Hütteldorf aufgelistet. Die meisten Zugbewegungen verzeichnet die Linie S45 mit insgesamt 16 Zügen pro Stunde. Die Linie WB verkehrt mit lediglich 2 Zügen pro Stunde im Knoten. Insgesamt fahren 42 Züge pro Stunde in oder aus dem Knoten Hütteldorf. Im Vergleich zum gegenwärtigen Betriebsprogramm verkehren 8 Züge mehr pro Stunde (vgl. Tabelle 3.4).

Tab. 4.12: Zugbewegungen pro Stunde im fiktiven Knoten Hütteldorf

Linie	Zugzahlen
S45	16
S50	8
S80	8
REX51	4
IRX5	4
WB	2
gesamt	42

Tabelle 4.13 gibt den Kennwert *Verkehrsart* für den fiktiven Knoten an. Die stündlichen Zugbewegungen in der Tabelle sind aufgegliedert nach SPNV und SPFV aufgelistet. Aus Tabelle 4.13 ist zu entnehmen, dass gemäß dem Betriebskonzepts der SPNV im fiktiven Knoten überwiegt.

Tab. 4.13: Kennwert Verkehrsart im fiktiven Knoten

Verkehrsart	Zugzahlen
SPNV	40
SPFV	2

Tabelle 4.14 untergliedert den SPNV zusätzlich in Regionalverkehr (REX51 und IRX5) und Nahverkehr (S45, S50, und S80). Aus der Tabelle geht hervor, dass vor allem der Nahverkehr, also der S-Bahn-Verkehr, im fiktiven Knoten dominiert.

Tab. 4.14: Kennwert Verkehrsart

Verkehrsart	Zugzahlen	
SPNV	Nahverkehr	32
	Regionalverkehr	8
SPFV		2

Ein Vergleich mit dem Kennwert Verkehrsart des bestehenden Knotens zeigt, dass sowohl im bestehenden als auch im fiktiven Knoten der SPNV bzw. der Nahverkehr überwiegt (vgl. Tabelle 3.5 und 3.6).

Der Kennwert *Behandlung* gibt an, ob die Züge im Knoten einen Halt einlegen oder durchfahren. Gleich wie im bestehenden Knoten bleiben alle Personenzüge auch im fiktiven Knoten stehen und legen einen Verkehrshalt ein.

Hinsichtlich den verkehrlichen Kennwerten zeigen der bestehende Knoten und der fiktive Knoten in Hütteldorf wenig Unterschiede auf. Aus verkehrlicher Sicht ähneln sich das Betriebsprogramm im Bestand und das erarbeitete Betriebskonzept des fiktiven Knotens.

Betriebliche Kennwerte

Die betrieblichen Kennwerte dienen zur Beschreibung der betrieblichen Verhältnisse im Knoten.

Die Tabelle 4.15 fasst den Kennwert *Strecken- und Richtungswechsel* zusammen. Die Linien S50 und S80 führen im fiktiven Knoten Hütteldorf einen Streckenwechsel durch. Die S50 wechselt zwischen der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf und der Strecke Westbahnhof – Knoten Wagram. Die Linie S80 wechselt in Hütteldorf zwischen Verbindungsstrecke und der Strecke Hütteldorf – Unter Purkersdorf.

Tab. 4.15: Streckenwechsel im fiktiven Knoten Hütteldorf

Linie	Streckenwechsel	Streckenwechsel inkl. Richtungswechsel	Züge pro Stunde
S45	nein	nein	16
S50	ja	nein	8
S80	ja	nein	8
REX51	nein	nein	4
IRX5	nein	nein	4
WB	nein	nein	2

Mithilfe der Tabelle 4.15 kann der *Kongruenzfaktor* im fiktiven Knoten ermittelt werden. Zur Berechnung werden die stündliche Anzahl der Fahrten ohne Streckenwechsel durch die stündliche Gesamtanzahl der Zugbewegungen im Knoten dividiert. Im vorliegenden Betriebskonzept führen die Züge der Linien S45, REX51, IRX5 und WB keinen Streckenwechseln in Hütteldorf und somit werden ihre Anzahl an Zugfahrten im Zähler addiert. Dadurch ergibt sich im fiktiven Knoten ein Kongruenzfaktor von 0,619 (siehe Gleichung 4.2). Dieser Wert ist niedriger als der Kongruenzfaktor im bestehenden Knoten (vgl. Gleichung 3.3). Laut Bendfeldt (2004, S.48–49) gibt der Kongruenzfaktor den Grad der Übereinstimmung zwischen Streckenverlauf und Verkehrsströme an. Demzufolge liegt im bestehenden Knoten eine höhere Übereinstimmung zwischen Betrieb und Infrastruktur vor als im fiktiven Knoten.

$$K = \frac{\sum N_{oSW}}{\sum N} = \frac{16 + 4 + 4 + 2}{42} = \frac{26}{42} = 0,619 \quad (4.2)$$

Wie bereits in Kapitel 3.3.4 erwähnt, ist bei der Anwendung des Kennwerts Kongruenzfaktor das resultierende Ergebnis kritisch zu hinterfragen. Für eine umfassendere Beschreibung der Übereinstimmung zwischen Betrieb und Infrastruktur ist der Kongruenzfaktor mit zusätzlichen Untersuchungsmethoden zu ergänzen.

Hinsichtlich des Kennwerts *Betriebsabwicklung* liegen im fiktiven Knoten folgende Verhältnisse vor: Gemäß dem vorliegenden Betriebskonzept für den Knoten Hütteldorf werden Bahnsteig 1 und 11 im Richtungsbetrieb bedient. Bahnsteig 1 und 11 werden von den Zügen der Linien S50 bzw. S45 bedient, die beide aus der gleichen Richtung, aus Osten, in den Knoten einfahren. Der Richtungsbetrieb dieser Linien auf diesem Bahnsteig erlaubt einen kurzen Umsteigeweg von der S45 auf die S50, ohne den Bahnsteig über die Unterführung wechseln zu müssen.

Der Betrieb der Linien REX51, IRX5 und WB wird an Bahnsteig 2 und 3 im Linienbetrieb geführt, wobei die Züge Richtung Westen dieser Linien an Bahnsteig 2 halten und die Züge der Gegenrichtung auf Bahnsteig 3. Um von den Linien REX51, IRX5 und WB auf die Linien S45, S50 oder S80 zu wechseln, müssen die Fahrgäste den Bahnsteig über die Unterführung wechseln.

Der Bahnsteig 4 und 5 wird ebenfalls im Linienbetrieb bedient, wobei die Züge Richtung Osten der Linien S50 und S80 Bahnsteig 5 bedienen. In der Gegenrichtung wird Bahnsteig 5 nur von der Linie S80 befahren. Züge der S50 Richtung Westen halten an Bahnsteig 1.

Ähnlich wie beim bestehenden Knoten liegt im fiktiven Knoten eine Kombination aus Linien- und Richtungsbetrieb vor.

4.2.2 Konfliktpotenzial

In Kapitel 4.1.3 wurde bereits im Zuge der Findung der Linienführung für den fiktiven Knoten Verkehrsstromanalysen durchgeführt. An dieser Stelle erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse der Verkehrsstromanalyse des fiktiven Knotens mit den Ergebnissen der Verkehrsstromanalyse des bestehenden Knotens aus Kapitel 3.4.

Tabelle 4.16a und 4.16b zeigen das Konfliktpotenzial des erarbeiteten Betriebskonzepts im fiktiven Knoten und das Konfliktpotenzial im bestehenden Knoten bei unveränderter Linienführung. Bei einem Vergleich beider Tabellen ist zu erkennen, dass im fiktiven Knoten mehr potenzielle Konfliktpunkte auftreten als im bestehenden Knoten. Während bei der gegenwärtigen Linienführung im bestehenden Knoten vor allem potenzielle Konflikte in Form von Einfädelungen auftreten, dominieren im fiktiven Knoten potenzielle Konflikte in Form von Kreuzungen. Vor allem entlang der Linie S80 im fiktiven Knoten treten viele Kreuzungen auf.

Tab. 4.16: Vergleich des Konfliktpotenzials zwischen dem fiktiven Knoten und dem bestehenden Knoten

(a) Konfliktpotenzial im fiktiven Knoten

Linie	K	E	A	gesamt
S45	0	1	1	2
S50	1	4	0	5
S80	7	1	0	8
REX51	2	1	0	3
IRX5	2	1	0	3
WB	2	1	0	3
				24

(b) Konfliktpotenzial im bestehenden Knoten

Linie	K	E	A	gesamt
S45	0	1	1	2
S50	0	3	0	3
S80	0	1	1	2
REX51	0	3	0	3
IRX5	0	2	0	2
WB	0	2	0	2
				14

4.2.3 Anmerkungen zum Konzept und weiterführende Untersuchungen

In den folgenden Abschnitten werden Merkmale des erarbeiteten Infrastruktur- und Betriebskonzepts hervorgehoben, die eventuell in weiterführenden Planungs- bzw. Iterationsschritt zu berücksichtigen sind.

Anordnung der Bahnsteige und der daraus resultierende Platzbedarf

Wie bereits in Kapitel 4.1.1 erwähnt, ging aus der Recherche nicht hervor, ob der Denkmalschutz im Bahnhof Hütteldorf neben dem Aufnahmegebäude zusätzlich vereinzelte architektonische Elemente oder sogar die Bahnsteige inklusive der Unterführung als Ganzes umfasst. Für das vorliegende Konzept wurde angenommen, dass die Bahnsteige aus Gründen des Denkmalschutzes nicht entfernt werden können. Im bestehenden Knoten liegen zwischen dem Hausbahnsteig (Bahnsteig 1) und dem mittleren Inselbahnsteig (Bahnsteig 3 und 4) drei Gleise. Im erarbeiteten Infrastrukturkonzept hingegen liegen zwischen dem Hausbahnsteig und dem Mittelbahnsteig nur zwei Gleise. Durch den Wegfall eines dritten Gleises entsteht zwischen den Bahnsteiggleisen eine freie Fläche, die ungenutzt bleibt. Sind Änderungen an der Positionierung der Bahnsteige im Knoten seitens des Denkmalschutzes erlaubt, so können die Abstände zwischen den Gleise und in weiterer Folge die Abstände zwischen den Bahnsteigen soweit verringert werden, so dass freiwerdende Flächenkapazitäten in anderen Bahnhofsbereichen genutzt werden können.

Taktschema der Linie S45

Im vorliegenden Konzept wurde die Linie S80 Richtung Unter Purkersdorf verlängert und der Takt der Linien S45 und S80 verkürzt. Die Änderungen im Betrieb im Vergleich zum gegenwärtigen Betriebsprogramm beeinflussen die Verkehrslast auf den Zulaufstrecken. Neben der Analyse der Kapazitäten im fiktiven Knoten Hütteldorf sind auch Untersuchungen der Streckenkapazitäten durchzuführen. An dieser Stelle werden mögliche Auswirkungen des Betriebskonzepts auf die Vorortestrecke hervorgehoben.

Das vorliegende Betriebskonzept sieht für die Linie S45 einen Takt von 7 bis 8 Minuten vor (vgl. Tabelle 4.9 und Abbildung 4.11). Die Strecke, auf der die S45 verkehrt, ist zwischen Hütteldorf und Penzing eingleisig ausgeführt und ab Penzing Richtung Handelskai zweigleisig. Der eingleisige Abschnitt der Vorortestrecke kann von maximal einem Zug befahren werden, da entlang des eingleisigen Streckenabschnitts und im Knoten Ausweichmöglichkeiten fehlen. Für die Betriebsabwicklung bedeutet das, dass ein Zug der S45 innerhalb von maximal 7 bzw. 8 Minuten in den eingleisigen Abschnitt einfahren, im Bahnhof wenden und den eingleisigen Abschnitt in Penzing wieder verlassen muss, bevor der Folgezug in den eingleisigen Streckenabschnitt Richtung Hütteldorf einfahren kann. Stellt sich bei einer weiterführenden Untersuchung der Streckenkapazität des eingleisigen Abschnitts heraus, dass ein Takt von 7 bis 8 Minuten zu kurz für die Abwicklung dieser Vorgänge ist, so sind infrastrukturelle Maßnahmen zu untersuchen, die eine Durchführung des vorliegenden Taktschemas für die S45 erlauben. Beispielweise kann die Infrastruktur mittels Schaffung von Ausweichmöglichkeiten entlang dem eingleisigen Streckenabschnitt bzw. im Knoten oder durch einen zweigleisigen Ausbau des eingleisigen Abschnitts angepasst werden.

Das vorliegende Konzept stellt eine von vielen Möglichkeiten dar, wie der Betrieb und die Infrastruktur im Bahnhof Hütteldorf gestaltet werden können. Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen dienen zur Einschätzung der angenommenen

Maßnahmen. Aufbauend auf diesen Untersuchungen können weiterführende Analysen wie z.B. rechnergestützte Simulationen durchgeführt werden, um das betriebliche Verhalten und das Zusammenspiel zwischen Infrastruktur und Betrieb zu beschreiben.

Kapitel 5

Conclusio

Die Begriffe „Knoten“ und „Bahnhof“ werden häufig als Synonyme füreinander verwendet. Allerdings unterscheiden sich ihre Herleitungen. Auch wenn die Ansätze zur Herleitung der beiden Begriffe verschieden sind, gibt es keine klare Trennung zwischen den Begriffen „Knoten“ und „Bahnhof“. Eine Bahnanlage kann sowohl die Eigenschaften von Knoten als auch die Attribute von Bahnhöfen haben. Somit ist eine strikte Entkopplung der Begriffe voneinander nicht möglich. Im Fall von Hütteldorf handelt es sich sowohl um einen Knoten als auch um einen Bahnhof.

Jeder Eisenbahnknoten bzw. Bahnhof ist hinsichtlich seiner Infrastruktur und der Betriebsabwicklung auf dieser Infrastruktur einzigartig. Sie können zudem in Größe variieren und einen komplexen Aufbau aufweisen. Zur Beschreibung der Funktionen und Größe von Knoten können Knotenkennwerte herangezogen werden. Die Kennwerte helfen komplexe Knoten auf ihre wesentlichen Attribute herunterzubrechen und erlauben den Vergleich von Knoten untereinander. Die Kennwerte können zur Beschreibung der Infrastruktur, der verkehrlichen Aufgaben und der betrieblichen Merkmale angewendet werden. Die Anwendung von Knotenkennwerten birgt jedoch die Gefahr, dass Informationen über den Knoten verloren gehen und es somit zu einer verzerrten Darstellung des Knotens kommt.

Der Verknüpfungsgrad ist ein infrastruktureller Kennwert, der bei unreflektierter Anwendung den Knoten fehlerhaft widerspiegelt. Der Verknüpfungsgrad gibt das Verhältnis zwischen der Gesamtzahl der vorhandenen einfachen Weichen und jener Anzahl an einfachen Weichen, die für eine vollkommene gegenseitige Verknüpfung aller durchgehenden Hauptgleise notwendig ist, an. Ist der Verknüpfungsgrad kleiner als eins, dann ist von einem unzureichend verknüpften Knoten die Rede. Ist der Verknüpfungsgrad gleich eins, liegt ein vollständig verknüpfter Knoten vor. Ist der Verknüpfungsgrad größer als eins, so befinden sich im Knoten mehr Gleisverbindungen als für eine vollständige Verknüpfung notwendig ist. Der Verknüpfungsgrad beschreibt den Grad der Verknüpfung im gesamten Knoten, trifft aber keine Aussage über den Grad der Verknüpfung der Strecken untereinander. So kann es vorkommen, dass bestimmte Strecken in einem Knoten durch parallele Gleisverbindungen über das Maß der vollständigen Verknüpfung miteinander verbunden sind. Andere Strecken sind hingegen aufgrund Abwesenheit jeglicher Gleisverbindungen gar nicht miteinander verbunden. Bei undifferenzierter Anwendung des Kennwerts des Verknüpfungsgrads kann sich ein Wert größer als eins ergeben, wobei dieser Wert bei Betrachtung der Verknüpfung der einzelnen Strecken deren Verknüpfungsgrad nicht korrekt widerspiegelt.

Ein weiteres Problem der infrastrukturellen Kennwerte ist, dass sie die Bedeutung eines Knotens überschätzen bzw. unterschätzen und somit der Vergleich von Knoten auf Ebene der Infrastruktur an Aussagekraft verliert. Beispielsweise suggeriert ein Knoten mit vielen Infrastruktureinheiten eine wichtigere Bedeutung hinsichtlich der verkehrlichen Aufgaben als ein Knoten, der weniger Infrastruktureinheiten besitzt. Dennoch kann es

sein, dass im größeren Knoten weniger Züge verkehren als im kleineren Knoten und eine Vielzahl der Infrastruktureinheiten unbenutzt ist.

Die Anwendung der Kennwerte ermöglicht es, Knoten zusammenfassend zu beschreiben. Die Gefahr besteht aber, dass sie ein verzerrtes Bild des Knotens wiedergeben und sie somit an Aussagekraft verlieren. Daraus folgend sind Knotenkennwerte reflektiert anzuwenden und deren Ergebnisse auf Plausibilität zu hinterfragen.

Ergänzend zu den Knotenkennwerten kann eine Untersuchung von Verkehrsströmen zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Infrastruktur und Betrieb angewendet werden. Die Analyse der Verkehrsströme dient zur Bestimmung und Lokalisierung von potenziellen Konfliktpunkten. Als potenzielle Konfliktpunkte werden Kreuzungen zweier Verkehrsströme bzw. Linien und das Einfädeln eines Verkehrsstroms in einen zweiten Verkehrsstrom gezählt. Die Aufsummierung aller potenziellen Konfliktpunkte aller Verkehrsströme in einem Knoten wird als Konfliktpotenzial des Knotens bezeichnet. Wird im Zuge der Verkehrsstromanalyse an einer bestimmten Stelle ein potenzieller Konfliktpunkt identifiziert, so bedeutet das nicht, dass an dieser Stelle in der Betriebsdurchführung tatsächlich ein Konflikt auftreten muss. Vielmehr beschreibt das Konfliktpotenzial mögliche Konflikte, die auftreten können, wenn es zu Betriebsstörungen oder Verspätungen kommt. Zur Einschätzung, ob Konflikte bei Betriebsstörungen in einem Knoten tatsächlich auftreten können, sind andere Untersuchungsmethoden anzuwenden. Die Verkehrsstromanalyse erlaubt lediglich den Vergleich von Konfliktpotenzialen verschiedener Knoten, aber trifft keine Aussagen, wie wahrscheinlich die potenziellen Konflikte tatsächlich auftreten.

Es gibt eine Vielzahl an Maßnahmen, um den Bahnverkehr für den Fahrgast zu attraktivieren. Für Attraktivierungsmaßnahmen beschränkte sich diese Arbeit auf Änderungen der Linienverläufe und Taktverdichtungen der Linie. Zusätzlich wurden bestimmte Randbedingungen und Anforderungen an das Betriebs- und Infrastrukturkonzept gestellt. Das vorliegende Betriebskonzept sieht eine Verlängerung der Linie S80 Richtung Westen und eine Taktverdichtung der Linien S45 und S80 vor. Die Infrastruktur wurde an das Betriebskonzept bestmöglich angepasst. Für den Knoten Hütteldorf ergibt sich eine Vielzahl an verschiedenen Varianten im Knoten, wobei in dieser Arbeit nur eine Auswahl davon untersucht wurde. Bei Anwendung der Verkehrsstromanalyse weisen die betrachtenden Varianten das gleiche Konfliktpotenzial auf. Erst bei der Untersuchung, ob die potenziellen Konflikte im Einfahr- oder Ausfahrbereich der jeweiligen Linien auftreten, sind Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten zu erkennen.

Bei einem Vergleich sind zwischen dem bestehenden Knoten und dem erarbeiteten bzw. fiktiven Knoten in Hütteldorf hinsichtlich ihrer infrastrukturellen Knotenkennwerte deutliche Unterschiede zu erkennen. Das liegt daran, dass im Infrastrukturkonzept für den Knoten Hütteldorf nur jene Infrastruktureinheiten eingeplant wurden, die für den Regelbetrieb notwendig sind. Im bestehenden Knoten sind zusätzlich Infrastruktureinheiten vorhanden, die im Regelbetrieb nicht befahren werden. Das führt zu deutlichen Diskrepanzen in ihren infrastrukturellen Kennwerten. Hingegen weisen der bestehende Knoten und der fiktive Knoten kaum Unterschiede in den verkehrlichen und betrieblichen Knotenkennwerten auf. Bei Betrachtung der Ergebnisse der Verkehrsstromanalysen im bestehenden und im fiktiven Knoten stellt sich heraus, dass der fiktive Knoten ein höheres Konfliktpotenzial aufweist als der bestehende Knoten. Das liegt vor allem daran, dass durch die Verlängerung der Linie S80 mehr potenzielle Konflikte in Form von Kreuzungen mit anderen Linien auftreten.

Die Knotenkennwerte und die Verkehrsstromanalyse erlauben eine Ersteinschätzung der Maßnahmen im fiktiven Knoten. Eine ganzheitliche Beschreibung der Auswirkungen der Maßnahmen auf den Betrieb und die Infrastruktur erfolgt aber dabei nicht. Beispielsweise treffen weder die Knotenkennwerte noch die Verkehrsstromanalyse Aussagen über die Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit auf den Strecken oder mögliche Behinderungen im Störfall. Für Untersuchungen von Störungsszenarien oder Analyse der Streckenkapazitäten sind zusätzliche Untersuchungen wie beispielsweise rechnergestützte Leistungsuntersuchungen oder Simulationen durchzuführen.

Abkürzungen

EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
SGV	Schienengüterverkehr
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
VOR	Verkehrsverbund Ost-Region

Abbildungsverzeichnis

1.1	Eisenbahnnetz in Wien (Stadt Wien - ViennaGIS 2020)	11
1.2	Ausschnitt des Eisenbahnnetzes in Wien östlich von Hütteldorf (Stadt Wien - ViennaGIS 2020)	12
1.3	Ausschnitt des Eisenbahnnetzes in Wien westlich von Hütteldorf (Stadt Wien - ViennaGIS 2020)	12
2.1	Einteilung von Bahnhöfen nach ihrer Lage und Art der Streckenverknüpfung (Weigand et al. 2008, S.360)	19
2.2	Typisierung von Knoten (Bendfeldt 2004, S.36)	21
2.3	Beispiel zur Bestimmung des Verknüpfungsgrads (Bendfeldt 2004, S.47)	24
2.4	Richtungsbetrieb (Ostermann und Rollinger 2016, S.162)	26
2.5	Linienbetrieb (Ostermann und Rollinger 2016, S.162)	26
2.6	Relationen von Verkehrsströmen zueinander (Bendfeldt 2004, S.63)	27
2.7	Globale Betrachtung von Verkehrsströmen	28
2.8	Lokale Betrachtung von Verkehrsströmen und potenziellen Konfliktpunkten	29
2.9	Lokale Betrachtung von Verkehrsströmen mit eingezeichneten potenziellen Konfliktpunkten	29
3.1	Streckenverläufe durch und um den Knoten Hütteldorf	33
3.2	Vereinfachte Darstellung der Lageskizze des Bahnhof Wien Hütteldorf	35
3.3	Typisierung des Knotens Wien Hütteldorf	36
3.4	Vorhandene Weichen für die Verknüpfung des Knotens	36
3.5	Erforderliche Weichen für eine vollständige Verknüpfung des Knotens	37
3.6	Redundante Weichen für die Verknüpfung des Knotens	37
3.7	Verkehrsstärke der Linien im Knoten Hütteldorf	39
3.8	Linienführung S45, S50 und S80	40
3.9	Linienführung REX51	40
3.10	Linienführung IRX5	41
3.11	Linienführung Westbahn	41
3.12	Streckenverlauf im Knoten Hütteldorf	43
3.13	Linienverlauf durch den Knoten Hütteldorf, Ausgangslage	44
3.14	Globale Betrachtung der Linienführung, Ausgangslage	45
3.15	Lokale Betrachtung der Linienführung, Ausgangslage	46
4.1	Linienverlauf durch den fiktiven Bahnhof Hütteldorf	51
4.2	Linienführung im Knoten Hütteldorf, Variante 1	52
4.3	Variante 2	53
4.4	Variante 3	53
4.5	Variante 4	54
4.6	Konflikte Variante 1	54
4.7	Konflikte Variante 2	55

4.8 Konflikte Variante 3	55
4.9 Konflikte Variante 4	56
4.10 Infrastruktur Variante 3	60
4.11 Fahrplankarte für den fiktiven Knoten in Hütteldorf	62
4.12 Typisierung des fiktiven Knotens Wien Hütteldorf	64
4.13 Erforderliche Weichen für eine vollständige Verknüpfung des fiktiven Knotens	64

Tabellenverzeichnis

2.1	Kombinationen von Typenbezeichnungen (Bendfeldt 2004, S.37)	22
2.2	Konfliktpotenzial in Knoten 1 bei Gleichrang	30
2.3	Konfliktpotenzial in Knoten 2 bei Gleichrang	30
2.4	Konfliktpotenzial in Knoten 1 bei Vorrang auf der Strecke A–B	31
2.5	Konfliktpotenzial in Knoten 2 bei Vorrang auf der Strecke A–B	31
3.1	Linien im Bahnhof Hütteldorf	34
3.2	Kennwert Infrastruktureinheiten	35
3.3	Taktschema der Linien im Knoten Hütteldorf	38
3.4	Zugbewegungen pro Stunde im Knoten Hütteldorf	38
3.5	Kennwert Verkehrsart	39
3.6	Kennwert Verkehrsart	39
3.7	Streckenwechsel im Knoten Hütteldorf	42
3.8	Konfliktpotenzial, Ausgangslage	46
4.1	Konflikte Variante 1	56
4.2	Konflikte Variante 2	56
4.3	Konflikte Variante 3	57
4.4	Konflikte Variante 4	57
4.5	Konflikte Lage Variante 1	58
4.6	Konflikte Lage Variante 2	58
4.7	Konflikte Lage Variante 3	59
4.8	Konflikte Lage Variante 4	59
4.9	Taktschema für den fiktiven Knoten in Hütteldorf	61
4.10	Zugbewegungen pro Stunde je Fahrtrichtung und Linie	63
4.11	Kennwert Infrastruktureinheiten des fiktiven Knotens	64
4.12	Zugbewegungen pro Stunde im fiktiven Knoten Hütteldorf	66
4.13	Kennwert Verkehrsart im fiktiven Knoten	66
4.14	Kennwert Verkehrsart	66
4.15	Streckenwechsel im fiktiven Knoten Hütteldorf	67
4.16	Vergleich des Konfliktpotenzials zwischen dem fiktiven Knoten und dem bestehenden Knoten	68
D.1	Fahrtenverlauf im Bahnhof Hütteldorf	87

Literatur

- AIS, V. P. B. (2019). *Fahrplan 2021. Kursbuch Ostregion (Wien, Niederösterreich, Burgenland)*. VDV Ostregion. Ausgangsfahrplan ab Dezember 2020. Wien: Verkehrsverbund Ost-Region.
- Bendfeldt, J.-P. (2004). „Möglichkeiten der Standardisierung in der Infrastrukturplanung von Eisenbahnknoten“. Dissertation. Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und -betrieb der Universität Hannover. ISBN: 978-3-7771-0326-6.
- BMNT und BMVIT (2018). *#mission2030. Die österreichische Klima- und Energiestrategie*. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- Brezina, T., T. Hader und E. Eder (2015). *Pendeln in der Ostregion - Potenziale für die Bahn : Studie auf Basis einer Analyse der TU Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, im Auftrag der Arbeiterkammern Wien, Niederösterreich und Burgenland*. Verkehr und Infrastruktur. Wien: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien. ISBN: 978-3-7063-0564-8.
- Bundesdenkmalamt (2020). *Denkmalliste gemäß § 3 DMSG. Wien*. URL: <https://bda.gv.at/de/denkmalverzeichnis/> (Zugriff am 05. 11. 2020).
- EBO (1967). *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung*. zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 5. April 2019 (BGBl. I S. 479). Berlin: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.
- Fengler, W. und J. Böttcher (2007). „Eisenbahnknoten strukturiert analysieren“. In: *ETR – Eisenbahntechnische Rundschau* 10/07, S. 526–532.
- Freystein, H., M. Muncke und P. Schollmeier (2008). *Handbuch Entwerfen von Bahnanlagen*. 2. Aufl. Hamburg: DVV Media Group GmbH/Eurailpress. ISBN: 978-3-7771-0379-2.
- Kummer, S. (2006). *Einführung in die Verkehrswirtschaft*. Wien: Facultas.WUV. ISBN: 978-3-8252-8336-0.
- Menius, R. und V. Matthews (2017). *Bahnbau und Bahninfrastruktur. Ein Leitfaden zu bahnbezogenen Infrastrukturthemen*. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-17176-6.
- ÖBB (1997). *Dienstvorschrift V3 (Betriebsvorschrift)*. 7. Änderung aus dem Jahr 2004. URL: <http://www.schienebahnen.at/dienstvorschriften/v3.pdf> (Zugriff am 25. 10. 2020).

- ÖBB (2011). *Zielnetz 2025+*. Wien: ÖBB-Infrastruktur AG.
- ÖBB (2018). *Werte bewegen. Geschäftsbericht 2018*. Wien: ÖBB-Holding AG.
- ÖBB (2020). *Attraktivierung der Verbindungsbahn. Rund um die Planung*. URL: <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken-grossraum-wien/attraktivierung-verbundungsbahn/rund-um-die-planung> (Zugriff am 25.10.2020).
- ÖBB Infra (2019). *VzG Streckennummern (ÖBB Streckenverzeichnis)*. URL: <https://infrastruktur.oebb.at/de/geschaeftpartner/schiennetz/dokumente-und-daten/oebb-streckenverzeichnis.pdf> (Zugriff am 25.10.2020).
- Ostermann, N. und W. Rollinger (2016). *Handbuch ÖPNV. Schwerpunkt Österreich*. 1. Aufl. Hamburg: DVV Media Group. ISBN: 978-3-87154-550-4.
- Pachl, J. (2018). *Systemtechnik des Schienenverkehrs. Bahnbetrieb planen, steuern und sichern*. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-21407-4.
- Schnieder, L. (2018). *Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr. Ziele, Methoden, Konzepte*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. ISBN: 978-3-662-57317-4.
- Stadt Wien - ViennaGIS (2020). URL: <https://www.wien.gv.at/ma41datenviewer/public/> (Zugriff am 22.10.2020).
- Statistik Austria (2019a). *Ergebnisse im Überblick: Bevölkerung Österreichs seit 2008 nach Bundesländern*. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/bevoelkerungsstand/078392.html (Zugriff am 26.02.2020).
- Statistik Austria (2019b). *Ergebnisse im Überblick: Erwerbstätige 2009 bis 2017 nach Entfernungskategorie*. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/pendlerinnen_und_pendler/078510.html (Zugriff am 26.02.2020).
- Statistik Austria (2019c). *Schülerpendler/-innen und Studierende 2009 bis 2017 nach Ausbildungstyp und Entfernungskategorie*. URL: https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/volkszaehlungen_registerzaehlungen_abgestimmte_erwerbsstatistik/pendlerinnen_und_pendler/index.html (Zugriff am 26.02.2020).
- Thiel, H.-C. (2001). „Personenverkehrsanlagen der Bahnhöfe“. In: *Verkehr. Straße, Schiene, Luft*. Hrsg. von U. Köhler. Berlin: Ernst & Sohn, S. 522–537. ISBN: 3-433-01576-7.
- Umweltbundesamt (2019). *Klimaschutzbericht 2019. Analyse der Treibhausgas-Emissionen bis 2017*. Wien: Umweltbundesamt GmbH. ISBN: 978-3-99004-522-0.

Weigand, W., W. Mittmann und W. Fengler (2008). „Die Infrastruktur. Das System Bahn“. In: *Handbuch*. Hrsg. von U. Köhler. Hamburg: DVV Media Group, S. 295–424. ISBN: 978-3-7771-0374-7.

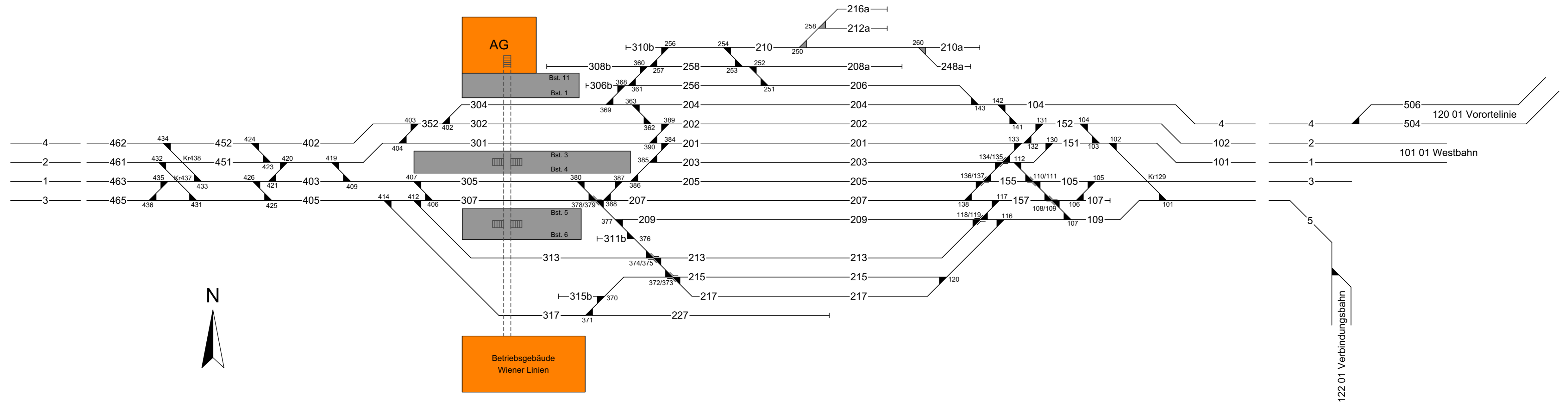
Westbahn (2020). *WESTbahn Fahrplan*. Wien: WESTbahn Management GmbH. URL: <https://westbahn.at/fahrplan/> (Zugriff am 28.10.2020).

Wiener Linien (2020). *Unternehmensprofil. Die Wiener „Öffis“ in Zahlen*. URL: <https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/channelView.do?pageTypeId=66528&channelId=-47395#67199> (Zugriff am 06.03.2020).

Anhang A

Gleisschema

Auf der folgenden Seite ist das Gleisschema vom Bahnhof Hütteldorf zu sehen. Es dient als Basis für die Untersuchung der Infrastruktur und für die Entwicklung von Infrastrukturkonzepten. Das dargestellte Gleisschema basiert auf der Lageskizze der ÖBB.

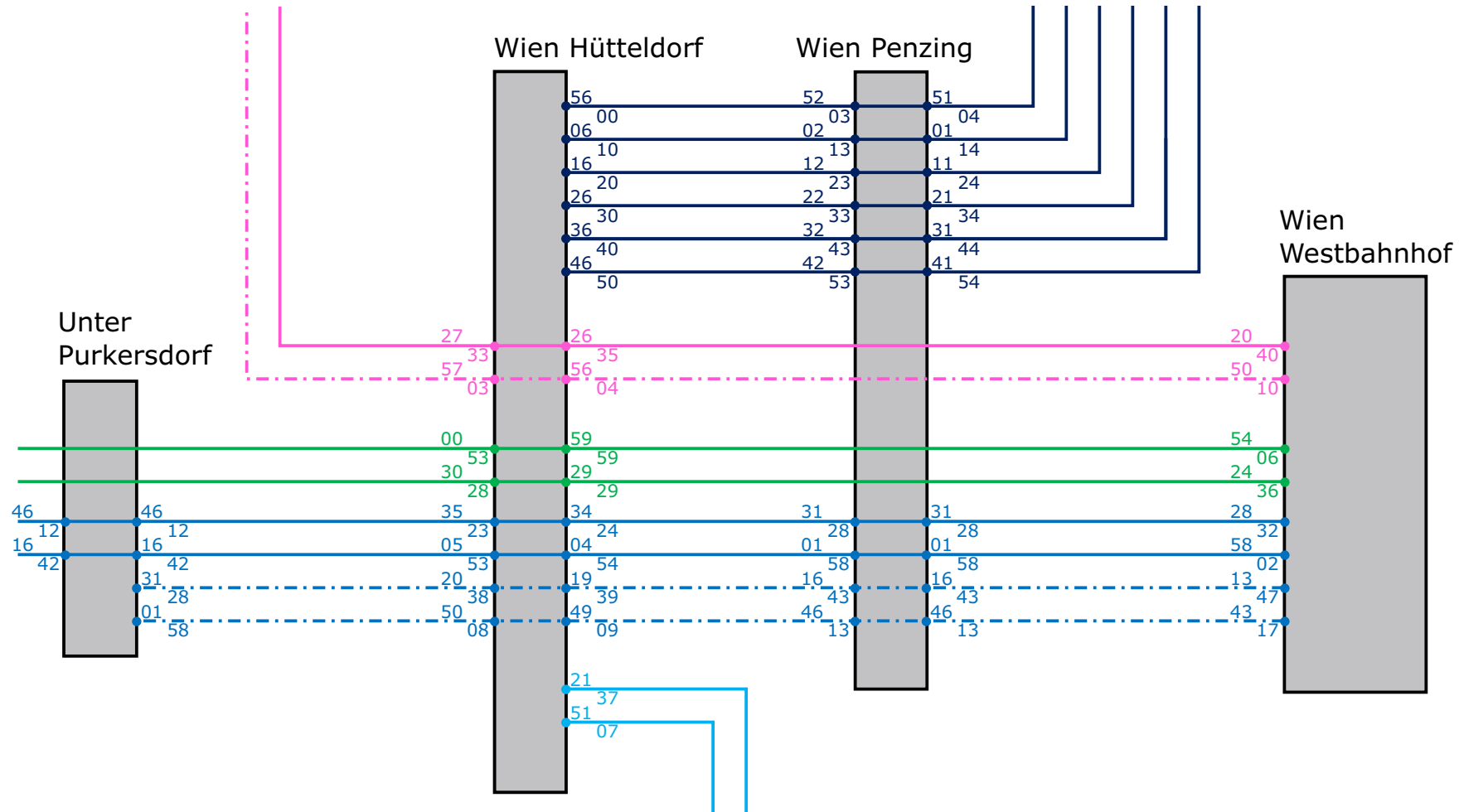


Maria Clara RASINGER	
Diplomarbeit	
Gleisschema, Bahnhof Wien Hütteldorf	
basierend auf die Lageskizze von Wien Hütteldorf (Hf) der ÖBB Infra	DATUM 01.11.2020

Anhang B

Fahrzeitenmodell im Knoten Hütteldorf

Auf der folgenden Seite ist ein Ausschnitt der Fahrplankarte von Wien des VOR für das Jahr 2023 dargestellt. Die Fahrplankarte beinhaltet die Ankunfts- und Abfahrtszeiten von Nah- und Regionalzügen im Knoten Hütteldorf. Zugbewegungen des Fernverkehrs sind nicht eingezeichnet. Diese Fahrplankarte wird als Grundlage für die betriebliche Analyse herangezogen.



Taktarten:

- Stundentakt
- HVZ-Verstärker

Linien in Wien Hütteldorf:

- S45
- S50
- S80
- REX51
- IRX5

Häufiger als im Stundentakt verkehrende Züge sind als einzelne Linien dargestellt.

Anhang C

Fahrplan der WESTbahn

Der folgende Fahrplan listet die Ankunfts- und Abfahrtszeiten der WESTbahn auf. Die WESTbahn verkehrt als Fernverkehrszug zwischen Wien Westbahnhof und Salzburg Hbf. Dieser Fahrplan fließt in die betriebliche Untersuchung ein.



Fahrplan der WESTbahn

Gültig von 08.10. bis 12.12.2020

Linz - Wien
in 1h 6min,
bis zu
13 x täglich

Salzburg - Wien
in 2h 18min,
bis zu
12 x täglich

Wien - Salzburg														Die Züge kommen jeweils 1 Minute vor Abfahrt in den Bahnhöfen an.															
Zugnummer	950	902	904	906	908	912	916	918	920	922	924	926	928	930															
Verkehrstage	A	B	täglich	C	täglich	täglich	täglich	D	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	E															
Wien Westbahnhof	ab	06:06	06:42	07:42	08:42	09:42	11:42	13:42	14:42	15:42	16:42	17:42	18:42	19:42	20:42														
Wien Hütteldorf	ab	06:13	06:49	07:49	08:49	09:49	11:49	13:49	14:49	15:49	16:49	17:49	18:49	19:49	20:49														
St. Pölten Hbf	ab	06:34	07:10	08:10	09:10	10:10	12:10	14:10	15:10	16:10	17:10	18:10	19:10	20:10	21:10														
Amstetten	ab	06:57	07:32	08:32	09:32	10:32	12:32	14:32	15:32	16:32	17:32	18:32	19:32	20:32	21:32														
Linz Hbf	an	07:24	07:56	08:56	09:56	10:56	12:56	14:56	15:56	16:56	17:56	18:56	19:56	20:56	21:56														
Linz Hbf	ab	07:28	07:58	08:58	09:58	10:58	12:58	14:58	15:58	16:58	17:58	18:58	19:58	20:58															
Wels Hbf	ab	07:41	08:11	09:11	10:11	11:11	13:11	15:11	16:11	17:11	18:11	19:11	20:11	21:11															
Attnang-Puchheim	ab	07:54	08:24	09:24	10:24	11:24	13:24	15:24	16:24	17:24	18:24	19:24	20:24	21:24															
Vöcklabruck	ab	07:59	08:29	09:29	10:29	11:29	13:29	15:29	16:29	17:29	18:29	19:29	20:29	21:29															
Salzburg Hbf	an	08:38	09:08	10:08	11:08	12:08	14:08	16:08	17:08	18:08	19:08	20:08	21:08	22:08															

UMSTEIGEVERBINDUNGEN

Weiterfahrt Salzburg - München mit Meridian														Weitere Meridian Haltestellen unter www.meridian-bob-brb.de/de/meridian														
Verkehrstage		täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich															
Salzburg Hbf	ab	09:15	10:15	11:15	12:15	14:15	16:15	17:15	18:15	19:15	20:15	21:15	22:15															
Rosenheim	an	10:24	11:24	12:24	13:24	15:24	17:24	18:24	19:24	20:29	21:29	22:29	23:24															
München Hbf	an	11:06	12:06	13:06	14:06	16:06	18:06	19:06	20:06	21:15	22:15	23:15	00:17															

Zufahrt München - Salzburg mit Meridian														Weitere Meridian Haltestellen unter www.meridian-bob-brb.de/de/meridian														
Verkehrstage				G	H	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich															
München Hbf	ab				05:48	06:55	08:56	10:55	11:55	12:55	13:55	14:55	15:55	16:55														
Rosenheim	ab			05:32	06:35	07:35	09:35	11:35	12:35	13:35	14:35	15:35	16:35	17:35														
Salzburg Hbf	an			06:40	07:42	08:42	10:42	12:42	13:42	14:42	15:42	16:42	17:42	18:42														

Salzburg - Wien														Die Züge kommen jeweils 1 Minute vor Abfahrt in den Bahnhöfen an.															
Zugnummer	901	903	905	907	909	913	917	919	921	923	925	927	929	931															
Verkehrstage	A	F	täglich	C	täglich	täglich	täglich	D	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich	E															
Salzburg Hbf	ab		05:52	06:52	07:52	08:52	10:52	12:52	13:52	14:52	15:52	16:52	17:52	18:52	19:52														
Vöcklabruck	ab		06:32	07:32	08:32	09:32	11:32	13:32	14:32	15:32	16:32	17:32	18:32	19:32	20:32														
Attnang-Puchheim	ab		06:37	07:37	08:37	09:37	11:37	13:37	14:37	15:37	16:37	17:37	18:37	19:37	20:37														
Wels Hbf	ab		06:50	07:50	08:50	09:50	11:50	13:50	14:50	15:50	16:50	17:50	18:50	19:50	20:50														
Linz Hbf	an		07:02	08:02	09:02	10:02	12:02	14:02	15:02	16:02	17:02	18:02	19:02	20:02	21:02														
Linz Hbf	ab	06:04	07:04	08:04	09:04	10:04	12:04	14:04	15:04	16:04	17:04	18:04	19:04	20:04	21:04														
Amstetten	ab	06:28	07:28	08:28	09:28	10:28	12:28	14:28	15:28	16:28	17:28	18:28	19:28	20:28	21:28														
St. Pölten Hbf	ab	06:50	07:50	08:50	09:50	10:50	12:50	14:50	15:50	16:50	17:50	18:50	19:50	20:50	21:50														
Wien Hütteldorf	an	07:10	08:10	09:10	10:10	11:10	13:10	15:10	16:10	17:10	18:10	19:10	20:10	21:10	22:10														
Wien Westbahnhof	an	07:18	08:18	09:18	10:18	11:18	13:18	15:18	16:18	17:18	18:18	19:18	20:18	21:18	22:18														

Legende WESTbahn:

- A Mo-Fr (wenn Werktag)
- B Mo-Sa (wenn Werktag)
- C Mo-Do und Sa (wenn Werktag)
- D Fr, So, Feiertag
- E Mo-Fr, So und Feiertag
- F Salzburg - Linz: Mo-Fr (wenn Werktag) | Linz - Wien: Mo-Sa (wenn Werktag)

Legende Meridian:

- G Rosenheim-Salzburg: Mo-Fr (wenn Werktag)
- H München-Salzburg: Sa (wenn Werktag) sowie So und an Feiertagen

Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen der WESTbahn Management GmbH. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. Alle Informationen unter www.westbahn.at. Datenstand 05.10.2020. ©WESTbahn Management GmbH.



Anhang D

Fahrtenverlauf im Bahnhof Hütteldorf

Tabelle D.1 fasst den Fahrtenverlauf der Züge aller Linien zusammen. In der Tabelle sind die Fahrtrichtung, die befahrenen Gleise bei der Einfahrt in den Bahnhof Hütteldorf, der Bahnsteig, an dem der Verkehrshalt eingelegt wird, und die befahrenen Gleise bei der Ausfahrt aus Hütteldorf angegeben. Für die Linien S45 und S80 stellt der Bahnhof Hütteldorf einen Endbahnhof dar. Dabei legen die Züge der S45 und S80 nach der Einfahrt in den Bahnhof einen Wendehalt ein. Beim Ausfahren aus dem Hütteldorf nach dem Halt befahren die Züge die gleichen Gleise wie bei der Einfahrt. In der Tabelle D.1 sind daher die Einfahrt in und die Ausfahrt aus Hütteldorf der Linien S45 und S80 separat angeführt, um den Wendehalt hervorzuheben.

Tab. D.1: Fahrtenverlauf im Bahnhof Hütteldorf

Linie	Fahrtrichtung	Einfahrt	Bstg	Ausfahrt
S45	von HK nach HF	Gl 004 – Gl 104 – Gl 206 – – G 258 – Gl 308b	11	
S45	von HF nach HK		11	Gl 308b – Gl 258 – Gl 206 – – Gl 104 – Gl 004
S50	von WS nach UP	Gl 002 – Gl 012 – Gl 152 – – Gl 202 – Gl 304	1	Gl 304 – Gl 352 – Gl 402 – – Gl 452 – Gl 462 – Gl a14
S50	von UP nach WS	Gl a13 – Gl 465 – Gl 455 – – Gl 405 – Gl 307	5	Gl 307 – Gl 201 – Gl 151 – – Gl 101 – Gl 011 – Gl 001
S80	von St H2 nach HF	Gl 005 – Gl 109 – Gl 213 – – Gl 313	6	
S80	von HF nach St H2		6	Gl 313 – Gl 213 – Gl 109 – – Gl 005
REX51	von WB nach Pb	Gl 002 – Gl 012 – Gl 152 – – Gl 202 – Gl 304	1	Gl 304 – Gl 352 – Gl 451 – – Gl 461 – Gl a12
REX51	von Pb nach WB	Gl a11 – Gl 463 – Gl 403 – – Gl 305	4	Gl 305 – Gl 201 – Gl 151 – – Gl 101 – Gl 011 – Gl 001
IRX5	vom WB nach Ams	Gl 002 – Gl 012 – Gl 152 – – Gl 202 – Gl 301	3	Gl 301 – Gl 451 – Gl 461 – – Gl a12
IRX5	von Ams nach WB	Gl a11 – Gl 463 – Gl 403 – – Gl 305	4	Gl 305 – Gl 201 – Gl 151 – – Gl 101 – Gl 011 – Gl 001
WB	von WB nach Sb	Gl 002 – Gl 012 – Gl 152 – – Gl 202 – Gl 301	3	Gl 301 – Gl 451 – Gl 461 – – Gl a12
WB	von Sb nach WB	Gl a11 – Gl 463 – Gl 403 – – Gl 305	4	Gl 305 – Gl 201 – Gl 151 – – Gl 101 – Gl 011 – Gl 001