

Potentiale von ÖPNV-Infrastrukturprojekten für die Raumentwicklung: Ansätze für deren Ermittlung und Anwendungsempfehlungen

Zusammenfassung

Gegenwärtige Bewertungsverfahren von Verkehrsinfrastrukturprojekten – z.B. die Standardisierte Bewertung von ÖPNV-Infrastrukturinvestitionen – beurteilen die erwarteten Wirkungen, die von einer Maßnahme ausgelöst werden. Es gibt aber auch potentielle Wirkungen, die erst zum Tragen kommen, wenn weitere Voraussetzungen erfüllt werden. Ein Beispiel dafür ist die Bündelung von Siedlungsstruktur an gut mit dem ÖPNV erreichbaren Standorten. Dazu benötigt es nicht nur ÖPNV-Projekte. Auch die Voraussetzungen für die Nachverdichtung der Siedlungsstruktur müssen geschaffen werden, z.B. durch Vorgaben in der Bauleitplanung oder Kriterien bei der Vergabe kommunaler Grundstücke an Bauträger. Diese potentiellen Wirkungen sind in gegenwärtigen Bewertungsverfahren nicht berücksichtigt.

Dieses Methodenpapier präsentiert daher zwei Ansätze zur Ermittlung raumplanerischer Potentiale von ÖPNV-Infrastrukturprojekten. Als Erstes werden Strukturpotentiale betrachtet. Dabei handelt es sich um die Nachverdichtung der Siedlungsstruktur als Folge eines ÖPNV-Infrastrukturprojekts. Als Zweites werden Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich untersucht, z.B. Bildungs-, Gesundheits- und Kultureinrichtungen.

Die Ansätze werden am Beispiel einer Fallstudie in der Region des Münchner Verkehrs- und Tarifverbunds (MVG) entwickelt. Konkret werden die Potentiale für die Raumentwicklung durch die mögliche Verlängerung der U-Bahn-Linie U5 nach Südosten in den Landkreis München präsentiert.

Die entwickelten Ansätze können zu einer besseren Koordination von Siedlungs- und Verkehrsplanung beitragen. Das Methodenpapier endet mit konkreten Empfehlungen für die Integration der Ansätze in die Planungs- und Bewertungspraxis.

1. Hintergrund

Um öffentliche Verkehrsinfrastrukturprojekte in Deutschland finanzieren und bauen zu können, muss in der Regel ein Nachweis der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit erbracht werden (BHO, 2021, § 7; HGrG, 2017, § 6). Im Fall von ÖPNV-Infrastrukturprojekten, die durch das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2023) finanziert werden, erfolgt dieser Nachweis mit dem Bewertungsverfahren der Standardisierten Bewertung (Intraplan & VWI Stuttgart, 2022). Dieses Verfahren bewertet die von einem Projekt verursachten Wirkungen für Fahrgäste, Betreiber, und die Allgemeinheit. Sind die Nutzen eines Projektes größer als seine Kosten, so gilt der Wirtschaftlichkeitsnachweis als erbracht.

Dabei ist das Ziel der Standardisierten Bewertung, alle Wirkungen zu erfassen, die von einem einzelnen Projekt ausgelöst und eindeutig dem Projekt zugeordnet werden können.

Grundsätzlich gibt es allerdings Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung, die abstrakt in Abbildung 1 dargestellt sind. Entwickelt sich beispielsweise die Siedlungsstruktur an einem bestimmten Standort durch die Ansiedlung von Unternehmen und Haushalten, so steigt die Verkehrsnachfrage von und zu diesem Standort. Dies macht mitunter neue Verkehrsprojekte erforderlich, z.B. eine leistungsfähigere Schienenanbindung des Standorts. Umgekehrt gilt aber auch, dass das Verkehrsprojekt – z.B. die leistungsfähigere Schienenanbindung – die Erreichbarkeit von Standorten verbessert. Diese werden dadurch attraktiver, weshalb sich Haushalte und Unternehmen dort ansiedeln möchten.

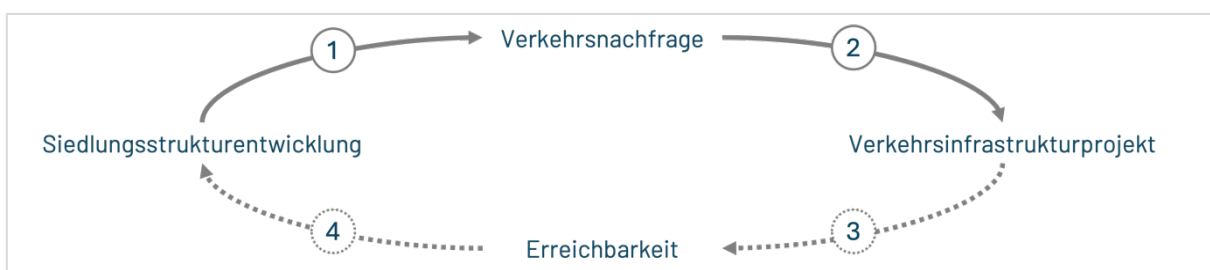


Abbildung 1 Abstrakte Wechselwirkungen zwischen Entwicklung der Siedlungsstruktur und Verkehrsinfrastrukturprojekten. Quelle: Eigene Darstellung

Um diese Wechselwirkungen für die Bewertung eines konkreten Verkehrsinfrastrukturprojekts im Einzelfall handhabbar zu machen, wird in der Standardisierten Bewertung die Beziehung (1) und (2) aus Abbildung 1 betrachtet: Zunächst wird die Entwicklung der Siedlungsstruktur zum Prognosehorizont ermittelt. Dazu werden die Strukturdaten, d.h. Einwohner und Erwerbstätige je Verkehrszelle, prognostiziert. Dann wird deren Einfluss auf die Verkehrsnachfragebeziehungen zwischen allen Standorten im Untersuchungsraum ermittelt. Zuletzt werden die Wirkungen durch ein Verkehrsinfrastrukturprojekt bewertet. Je mehr Fahrgäste von einem Verkehrsinfrastrukturprojekt profitieren und je mehr Fahrgäste auf den ÖPNV verlagert werden, desto wahrscheinlicher ist es, dass das Projekt positiv in der Standardisierten Bewertung abschneidet und letztlich realisiert werden kann. Dieser Ansatz kann als bedarfsorientierte Verkehrsplanung bezeichnet werden. Die umgekehrten Beziehungen (3) und (4) in Abbildung 1 werden dabei nicht oder nur in Ausnahmefälle berücksichtigt. Ein solcher Ausnahmefall ist dann gegeben, wenn das zu bewertende ÖPNV-Projekt eine höhere Bebauungsdichte an manchen Standorten ermöglicht. Dann darf die durch das ÖPNV-Projekt erwartete Siedlungsentwicklung in den Strukturdaten unterstellt werden (Intraplan & VWI Stuttgart, 2022, S. 44). Auf diese Weise läuft die Bewertung wieder nach den Schritten (1) und (2) aus Abbildung 1 ab und wird dadurch handhabbar.

Ein alternativer Planungsansatz besteht jedoch darin, die Siedlungsstruktur gezielt und selektiv dort zu entwickeln, wo bereits ein gutes ÖPNV-Angebot besteht oder geplant wird. Dieser Planungsansatz würde in Abbildung 1 von der Seite eines geplanten Verkehrsinfrastrukturprojekts beginnen und dann die Beziehungen (3) und (4) betrachten: Es würde untersucht, welche Auswirkungen ein geplantes Verkehrsinfrastrukturprojekt auf die Erreichbarkeit von Standorten hat, um dann gezielt Siedlungsstruktur an diesen Standorten zu entwickeln. Dies kann als ÖPNV-orientierte Siedlungsentwicklung bezeichnet werden.

Diese ÖPNV-orientierte Siedlungsentwicklung stellt sich allerdings nicht automatisch ein, wenn ein ÖPNV-Infrastrukturprojekt realisiert wird. Stattdessen hängt sie von weiteren Voraussetzungen ab, beispielsweise von Vorgaben in der Bauleitplanung oder Kriterien bei der Vergabe kommunaler Grundstücke an Bauträger. Wir bezeichnen die Wirkungsrichtung (3) und (4) in Abbildung 1 deshalb als Potentiale. Solche Potentiale

können mit dem gegenwärtigen Ansatz der Standardisierten Bewertung noch nicht ermittelt und in der Bewertung berücksichtigt werden.

Deshalb werden in diesem Methodensteckbrief zwei Ansätze präsentiert, wie siedlungsstrukturelle Potentiale in Verbindung mit einem Verkehrsinfrastrukturprojekt bestimmt werden können.

Der mittels Abbildung 1 verdeutlichte Zusammenhang wird auch in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert. Beispielsweise wird durch eine höhere Erreichbarkeit an einem Ort mehr Menschen ermöglicht, andere Orte, beispielsweise Arbeitsplätze, leichter zu erreichen (Papa & Bertolini, 2015). Dies führt dazu, dass viele Menschen ihre Wohn- und Arbeitsorte gezielt nach solchen hoch erreichbaren Orten auswählen und dort leben und arbeiten möchten (Zondag & Pieters, 2005). Das Vorhandensein von funktionierender ÖPNV-Infrastruktur hat aber nicht nur einen positiven Einfluss auf die Ansiedlung von Haushalten und Unternehmen, sondern spielt auch eine zentrale Rolle im Konzept der transitorientierten Entwicklung (*transit-oriented development* - *TOD*). *TOD* bezieht sich auf die Entwicklung von ÖPNV-Stationen im Schienennetz zu sogenannten Mobilitätshubs, die verschiedene Verkehrsträger bündeln und vernetzen. Diese Mobilitätshubs sollen eine gemischte Nutzung schaffen, welche Wohn-, Einzelhandels-, Büro-, Freizeitflächen und öffentliche Nutzungen kombiniert und auf eine fußgänger- und fahrradfreundliche Umgebung achtet (vgl. Cervero et al., 2002). *TOD* wird deshalb als eine zentrale Strategie für nachhaltige Stadt- bzw. Raumentwicklung gesehen (Banister, 2011; Kinigadner & Büttner, 2021; Stadler Benz & Stauffacher, 2023). Angewandte Studien haben gezeigt, dass Stationen, die als Mobilitätshub geplant wurden, für die lokale Bevölkerung nicht mehr nur als reine ÖPNV-Stationen oder Einkaufsmöglichkeiten wahrgenommen werden, sondern als wesentlicher Bestandteil des öffentlichen Raums (Wicki et al., 2024).

In der Schweizer Planungskultur hat der *TOD*-Ansatz bereits praktische Anwendung gefunden und wird dort als Verkehrsdrehscheibenkonzept beschrieben (vgl. Bisang et al., 2023; Theler et al., 2021). Grundsätzlich sollen Verkehrsdrehscheiben zwar nur verschiedene Verkehrsträger bündeln, aufeinander abstimmen und so Pendlerströme besser organisieren. Aebischer et al. (2022, S. 69) betonen jedoch, dass insbesondere Anwohnerinnen und Anwohner die Verkehrsdrehscheiben zu Fuß und für nicht

arbeitsbezogene Zwecke erreichen. Daher ist die Aufenthaltsqualität der öffentlichen Räume einer Verkehrsdrehscheibe von entscheidender Bedeutung. In diesem Zusammenhang heben Aebischer et al. die Notwendigkeit hervor, eine langfristige Vision für die Raumentwicklung zu entwickeln und eine individuelle Analyse der räumlichen Charakteristika jeder Verkehrsdrehscheibe vorzunehmen, wie z.B. standortprägende Nutzungen oder Qualitäten herauszuarbeiten (vgl. hierzu Aebischer et al., 2022). In der Planung sollte eine Station deshalb nicht allein unter verkehrlichen Gesichtspunkten beurteilt werden, sondern auch anhand ihrer Rolle im öffentlichen Raum und der Potentiale für städtebauliche Entwicklung.

Um die in diesem Methodenpapier vorgestellten Ansätze besser einschätzen zu können, testen wir sie anhand einer Fallstudie in der Region des Münchner Verkehrs- und Tarifverbunds (MVG). Konkret betrachten wir die mögliche Verlängerung der U-Bahn-Linie U5 in den Münchner Südosten. In München verbindet die bestehende U5 hauptsächlich den Westen und Osten der Stadt. Am südöstlichen Endpunkt der U5 endet die Linie derzeit nahe der Stadtgrenze im Stadtteil Neuperlach. Seit 2014 gibt es Initiativen des Landkreises München, die U5 weiter nach Südosten zu verlängern, um die regionale Anbindung und Fahrzeiten im ÖPNV zu verbessern. Dieses Projekt ist eines der bedeutendsten Verkehrsprojekte im MVV, um die Landeshauptstadt und den Landkreis München besser miteinander zu verknüpfen. Es ist auch in den Nahverkehrsplänen zur weiteren Untersuchung enthalten (Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung, 2021; plan:mobil & Mathias Schmechtig NahverkehrsConsult, 2020). Die mögliche Verlängerung umfasst in der hier betrachteten Variante drei neue Stationen: Neubiberg U, Ottobrunn U und Campus Taufkirchen U. In Abbildung 2 ist eine Variante des möglichen Verlaufs der U5-Verlängerung visualisiert, die wir als Fallstudie heranziehen.

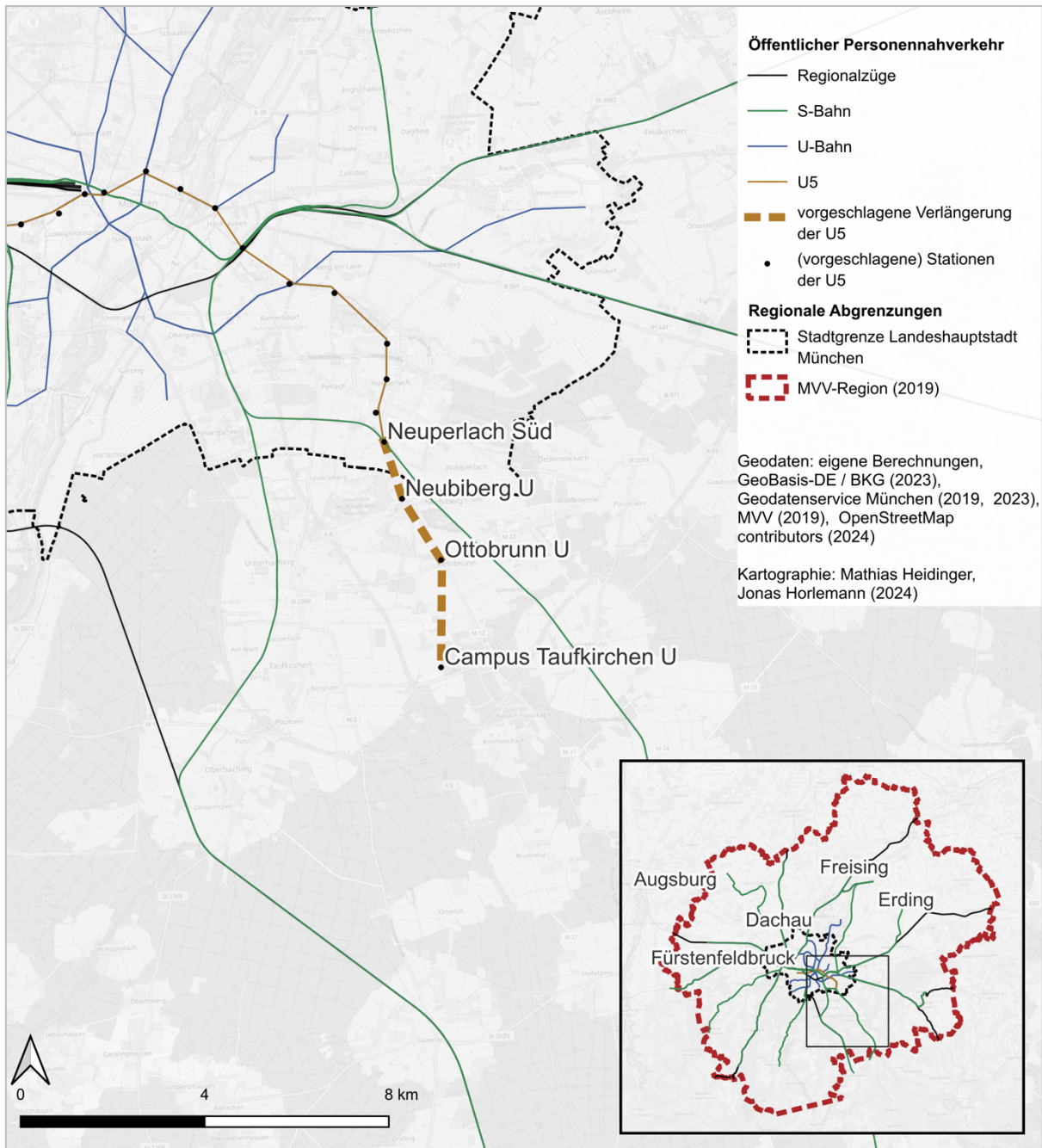


Abbildung 2 Vorgeschlagene Verlängerung der U5. Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung der angegebenen Datenquellen (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2023; Geodatenservice München, 2019b, 2019a, 2023; Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2019; OpenStreetMap contributors, 2024a, 2024d)

In diesem Methodenpapier fassen wir in Abschnitt 2 zunächst die verwendeten Methoden und Datengrundlagen zusammen. Dies betrifft die Messung der ÖPNV-Erreichbarkeit, Strukturpotentiale in Form siedlungsstruktureller Nachverdichtung, sowie geeignete Standorte für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich.

In Abschnitt 3 präsentieren wir die Ergebnisse aus der Fallstudie der möglichen U5-Verlängerung in den Landkreis München. Abschnitt 4 diskutiert die Methoden und

Ergebnisse. In Abschnitt 5 formulieren wir Empfehlungen für eine mögliche Praxisanwendung in Deutschland.

2. Methoden und Datengrundlagen

In diesem Abschnitt werden zwei komplementäre Ansätze vorgestellt. Diese ermitteln die mit einem ÖPNV-Verkehrsinfrastrukturprojekt verbundenen Potentiale:

- Strukturpotentiale, d.h. die zusätzliche Ansiedlung von Einwohnern und Erwerbstätigen in Gebieten mit gesteigener ÖPNV-Erreichbarkeit
- Potentielle Standorte für zentrale Einrichtungen – Bildungs-, Gesundheits- und Kultureinrichtungen – mit regionalem Einzugsbereich

Diese Potentiale entstehen, weil sich die Erreichbarkeit mit dem ÖPNV durch ein Projekt – beispielsweise durch eine mögliche Verlängerung der U-Bahn-Linie U5 – verändert. Deshalb wird in Abschnitt 2.1 zunächst eine Möglichkeit zur Messung der Erreichbarkeit mit dem ÖPNV erläutert. Die Abschnitte 2.2 und 2.3 beschreiben Methoden zur Ermittlung der Potentiale. Abschnitt 2.4 fasst die verwendeten Datengrundlagen zusammen.

ÖPNV-Erreichbarkeit

Erreichbarkeitsmaße gehen zurück auf Hansen (1959) und können in allgemeiner Form anhand des folgenden Index ausgedrückt werden (vgl. Levinson & Wu, 2020, S. 132):

$$E_i = \sum_{j=1}^J O_j f(r_{ij}) \quad (1)$$

Der Index E_i misst die Erreichbarkeit ausgehend von einer Quelle i zu allen *opportunities* O_j – d.h. Gelegenheiten für Aktivitäten an den Zielen j . Dabei kann O_j beispielsweise mit der Anzahl der Arbeitsplätze, Einwohner, oder Verkaufsflächen je Verkehrszelle operationalisiert werden. Die Erreichbarkeit ist durch einen bewerteten Widerstand der Raumüberwindung $f(r_{ij})$ beschränkt, wobei unterschiedliche Spezifikationen für $f(r_{ij})$ möglich sind. Für den stadtreionalen Untersuchungskontext wählen wir einen gravitationsbasierten Erreichbarkeitsindex mit einer negativen Exponentialfunktion als

Bewertungsfunktion $f()$. Dadurch ergibt sich folgendes Erreichbarkeitsmaß, wobei $\beta < 0$ gilt (Geurs & van Wee, 2004):

$$E_i = \sum_{j=1}^J O_j e^{\beta r_{ij}} \quad (2)$$

Über den Parameter β wird die abnehmende Bedeutung der Gelegenheiten O_j am Zielort erfasst. Sie gehen zu einem geringeren Anteil in das Erreichbarkeitsmaß ein, je weiter entfernt ein Ziel liegt bzw. je höher der Widerstand der Raumüberwindung r_{ij} ist. Abbildung 3 stellt die für die MVV-Region kalibrierte negative Exponentialfunktion dar.

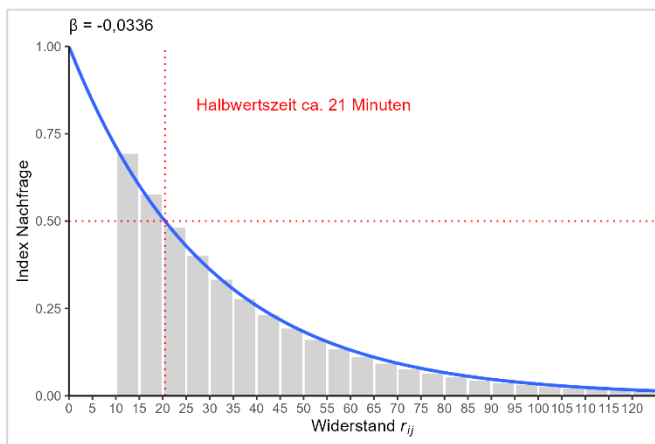


Abbildung 3 Kalibrierung des Widerstandsabnahmeparameters β anhand der MIV- und ÖPNV-Widerstands- und Nachfragematrizen für die MVV-Region. Quelle: Eigene Darstellung.

In der hier erfolgten Fallstudie werden exemplarisch zwei Erreichbarkeitsindices berechnet.

1. Erreichbarkeit zu Arbeitsplätzen mit dem ÖPNV

Dieser Index misst ausgehend von jeder Quelle i , wie gut Arbeitsplätze in der MVV-Region mit dem ÖPNV erreicht werden können. Die Arbeitsplätze am Zielort werden aufgrund der Datenverfügbarkeit mit der Anzahl Erwerbstätiger je Verkehrszelle w_j (*workers*) operationalisiert. Der Index wird anschließend auf eine Zahl zwischen 0 und 100 normiert, indem durch die Summe der Erwerbstätigen aller Verkehrszellen dividiert und mit dem Faktor 100 multipliziert wird. Auf diese Weise ergibt sich folgender Index je Verkehrszelle:

$$E_{i,\ddot{\text{O}}\text{PNV},w} = \frac{1}{\sum_j w_j} \sum_j w_j e^{\beta r_{ij,\ddot{\text{O}}\text{PNV}}} \times 100 \quad (3)$$

Dabei bezeichnet $r_{ij,\ddot{\text{O}}\text{PNV}}$ den Widerstand für eine Fahrt mit dem ÖPNV auf der Relation von i nach j . Der Widerstand wird in der Einheit Minuten gemessen und stellt eine Maßzahl für die bewerteten Tür-zu-Tür-Reisezeiten dar, inklusive bewerteter Zeiten für Zu- und Abgang von Haltestellen, Umstiege, Warten, Beförderungszeiten im Fahrzeug, sowie Boni und Mali für die Qualität von Fahrzeugen und Stationen. Die einzelnen Parameter sind in der Standardisierten Bewertung dokumentiert (Intraplan & VWI Stuttgart, 2022).

Aufgrund der Wichtigkeit von Pendelwegen für die Standortwahl von Haushalten und Unternehmen, wird dieser Index für die Berechnung der Strukturpotentiale in Abschnitt 2.2 verwendet.

2. Erreichbarkeit zu Einwohnern mit dem ÖPNV

Dieser Index misst ausgehend von jeder Quelle i , wie gut Einwohner p (population) in der MVV-Region mit dem ÖPNV erreicht werden können. Im Unterschied zum obigen Index wird die Anzahl der Einwohner am Zielort berücksichtigt. Folglich berechnet sich der Index gemäß Formel 4:

$$E_{i,\ddot{\text{O}}\text{PNV},p} = \frac{1}{\sum_j p_j} \sum_j p_j e^{\beta r_{ij,\ddot{\text{O}}\text{PNV}}} \times 100 \quad (4)$$

Der Index $E_{i,\ddot{\text{O}}\text{PNV},p}$ wird für die Ermittlung von zusätzlichen Optionen der Flächennutzung in Abschnitt 2.3 verwendet, weil für Einrichtungen der Daseinsvorsorge die Erreichbarkeit einer großen Bevölkerungspotentials wichtiger als die Erreichbarkeit eines großen Arbeitskräftepotentials ist.

Beide Indices können jeweils für zwei Fälle berechnet werden:

- in einem Ohnefall, ohne die mögliche U5-Verlängerung
- in einem Mitfall, mit der möglichen U5-Verlängerung

Durch den Vergleich beider Fälle kann die Wirkung der möglichen U5-Verlängerung in den Landkreis München identifiziert werden.

Abbildung 4 stellt zunächst den Index $E_{i, \text{ÖPNV}, w}$ je Verkehrszelle im Ohnefall dar. Hier zeigt sich, dass insbesondere entlang der Schienenverkehrsachsen (Regionalzug, S-Bahn, U-Bahn) der Erreichbarkeitsindex höher ist als in Bereichen ohne nahe gelegene Schienenverkehrsanbindung.

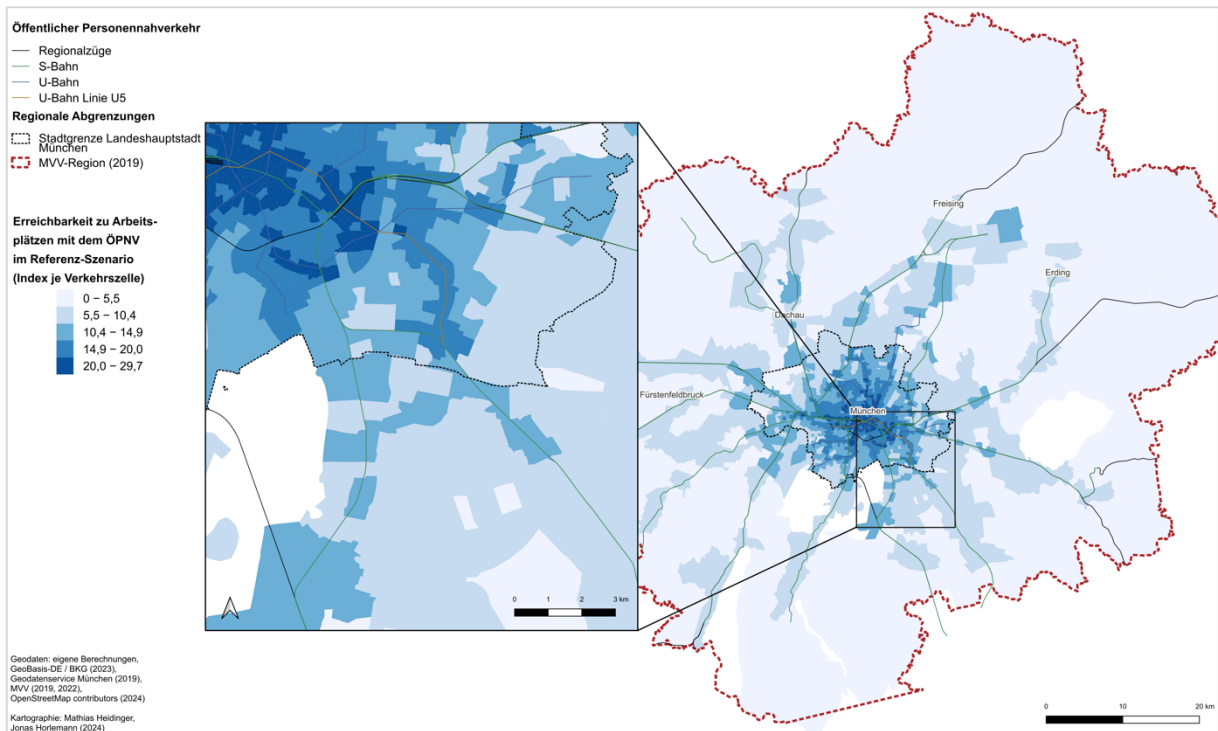


Abbildung 4 Index der Erreichbarkeit zu Arbeitsplätzen in der MVV-Region mit dem ÖPNV je Verkehrszelle ($E_{i, \text{ÖPNV}, w}$) im Ohnefall. Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, unter Verwendung der angegebenen Datenquellen (Geodatenservice München, 2019b, 2019a; Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2019, 2022; OpenStreetMap contributors, 2024a, 2024b).

Abbildung 5 stellt die Änderung des Erreichbarkeitsindex zu Arbeitsplätzen im Auswirkungsbereich der U5-Verlängerung dar. Diese berechnet sich aus dem Vergleich zwischen Mitfall und Ohnefall. Es wird ersichtlich, dass insbesondere im Bereich der möglichen neuen U-Bahn-Stationen eine deutliche Verbesserung der Erreichbarkeit zu erwarten ist.

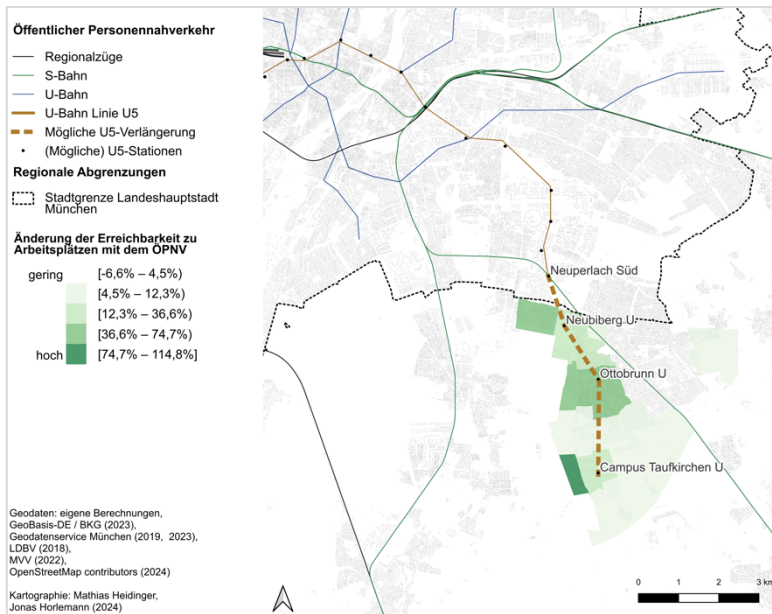


Abbildung 5 Prozentuale Änderung des Erreichbarkeitsindex zu Arbeitsplätzen in der MVV-Region mit dem ÖPNV je Verkehrszelle ($E_{i,ÖPNV,w}$) im Mitfall im Vergleich zum Ohnefall. Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, unter Verwendung der angegebenen Datenquellen (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2023; Geodatenservice München, 2019a, 2019b, 2023; Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV), 2018; Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2022; OpenStreetMap contributors, 2024b, 2024d, 2024a).

Die zur Berechnung der Erreichbarkeitsindices verwendeten Datengrundlagen sind in Tabelle 1 in Abschnitt 2.4 zusammengefasst.

Die berechneten Erreichbarkeitsindices je Verkehrszelle dienen als Eingangsgröße für die Berechnung von

- Strukturpotentialen für siedlungsstrukturelle Nachverdichtung
- Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich

Die Methoden zur Ermittlung der Potentiale werden nachfolgend beschrieben. Ergebnisse werden in Abschnitt 3 dargestellt.

2.1. Strukturpotentiale

Die Methodik basiert auf Bertolinis Node-Place-Model (1996, 1998, 1999) für Haltestellen im ÖPNV, welches schon in verschiedenen Kontexten Anwendung gefunden hat (siehe bspw. Müller et al., 2023; oder Wenner et al., 2020). Die zugrundeliegende Idee ist einfach: jeder Station in einem vorab definierten Raum, z.B. einer Kommune oder Region, wird deren Erreichbarkeit (der *Node* Wert) der lokalen Funktion der Haltestelle (dem *Place* Wert) gegenübergestellt (Bertolini, 1999). Bertolini (1999) beschreibt den *Node* Wert als das Potential für physische (menschliche) Interaktion, aber auch die mögliche Anzahl an Orten, die ausgehend von der Haltestelle erreicht werden können. Bertolini (1999) definiert weiterhin den *Place* Wert einer Haltestelle als die Anzahl an lokalen Funktionen und Aktivitäten, die im unmittelbaren Stationsumfeld erledigt werden können. Eine Handreichung, beziehungsweise einen definierten Rechenweg für die Feststellung beider Werte je Station werden nicht genannt, Bertolini stellt jedoch beide Werte wie in Abbildung 6 (Bertolini (1999)) gegenüber.

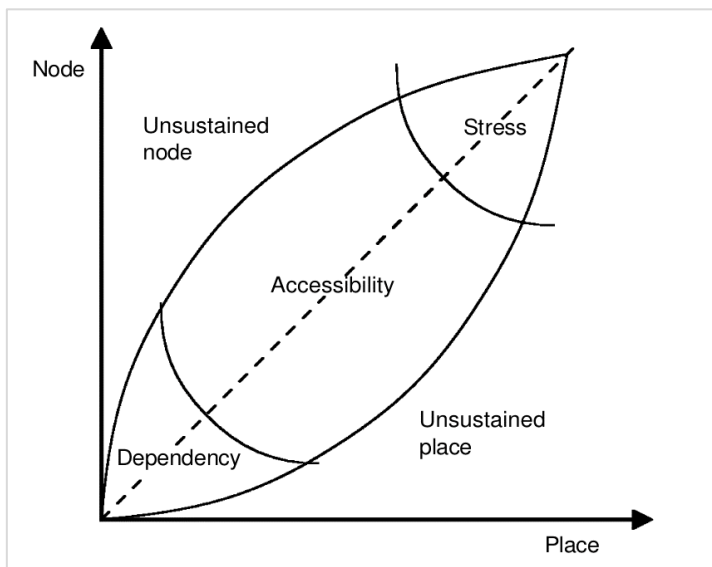


Abbildung 6 Node-Place Model (Bertolini, 1999).

Im Node-Place-Model werden fünf Bereiche charakterisiert. Der Bereich mit dem höchsten *Place* & *Node* Wert, also eine Haltestelle mit hoher sozialer Interaktion und einer hohen Dichte an Aktivitäten, wird dem Bereich *Stress* zugeordnet. Ein Beispiel wäre hier der Hauptbahnhof München. Ein methodisch nicht weiter abgegrenzter Bereich wird als *Accessibility* bezeichnet, hier befinden sich sowohl der *Place* als auch *Node* Wert in einem Gleichgewicht. Abschließend definiert Bertolini (1999) noch drei unausgewogene

Bereiche: *Dependency* (auf Deutsch Abhängigkeit), hier sind sowohl der *Place*, als auch *Node* Wert ausbaufähig, beispielweise eine Haltestelle „auf der grünen Wiese“ oder eine Haltestelle im „Speckgürtel“ einer Großstadt; *Unsustained node* und *Unsustained place* bezeichnen Haltestellen, die entweder bei *Node* oder bei *Place* einen unverhältnismäßig hohen Wert annehmen (Bertolini (1999)).

Wir ermitteln nun für *Node* und *Place* den empirischen Zusammenhang. Anstelle einzelner Standorte oder Haltestellen, wie im Ansatz von Bertolini (1999), rechnen wir auf Ebene der Verkehrszellen aus der MVV-Datenbasis (Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2022). In unserem Fall entspricht der *Node* Wert dem berechneten ÖPNV-Erreichbarkeitsindex $E_{i,\text{ÖPNV},w}$ je Verkehrszelle. Der *Place* Wert wird durch die Strukturdaten, d.h. die Anzahl der Einwohner und Erwerbstätigen einer Verkehrszelle, operationalisiert.

Aus diesem empirischen Zusammenhang aus *Node* und *Place* Wert wird ein Verhaltensmodell geschätzt: Dieses gibt an, wie der *Place* Wert potentiell reagieren könnte, wenn sich der *Node* Wert durch ein Verkehrsprojekt verändert.

Wenn sich der *Node* Wert einer beliebigen Verkehrszelle erhöht – in unserem Fall durch mögliche neue Stationen, schnellere Reisezeiten und Taktverdichtungen auf der U5 – erhöht sich potentiell auch der *Place* Wert eben dieser Verkehrszelle. Aus der Erhöhung des *Place* Werts einer Verkehrszelle ergibt sich das „Strukturpotential“. Dieses Strukturpotential gilt es durch Schaffung eines entsprechenden Angebots in Form von Nachverdichtung planerisch zu heben. Im Folgenden werden die Arbeitsschritte in Form eines Ablaufschemas (vgl. Abbildung 7) vorgestellt. Die in diesem Abschnitt verwendeten Input-Variablen sind in Tabelle 1 dargestellt.

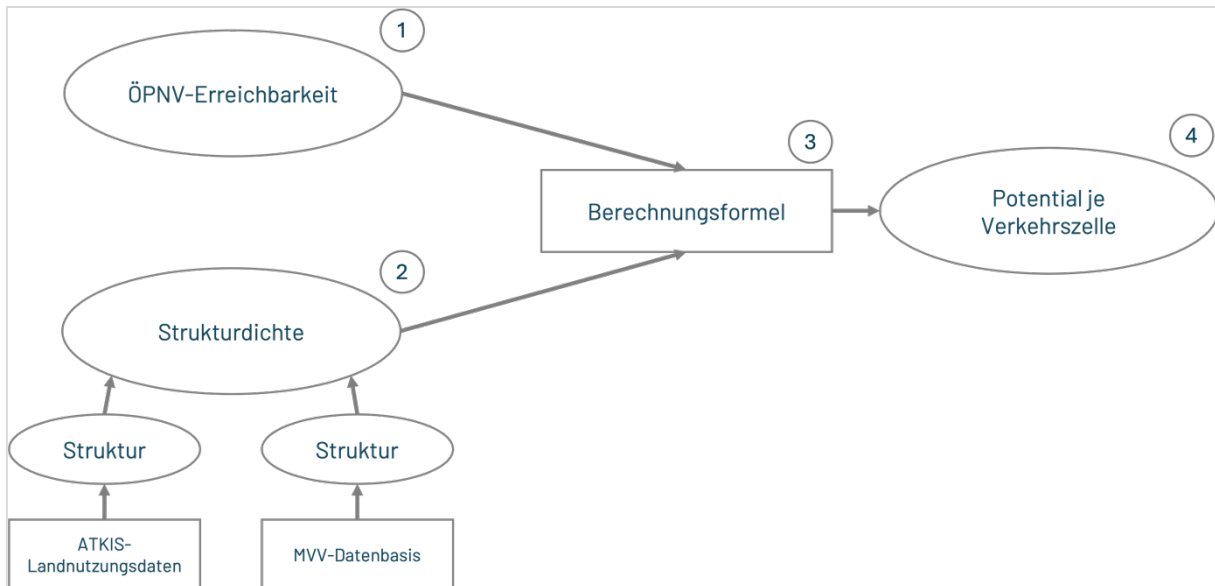


Abbildung 7 Ablaufschema der Methode "Strukturpotentiale". Quelle: Eigene Darstellung.

Wir verwenden die Fläche von Verkehrszellen. Nachdem Verkehrszellen nicht nur stark heterogen in ihrer Zusammensetzung, sondern auch unterschiedlich groß in ihrer Fläche sind, müssen wir die Verkehrszellen erst homogenisieren. Dies wird zum einen durch eine Ermittlung der relevanten Flächen mittels ATKIS-Daten (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2022) und zum anderen durch eine Dichtetransformation durchgeführt. Zu Beginn muss für jede Verkehrszelle ihre Siedlungs- und Verkehrsfläche bestimmt werden. So beinhaltet die gesamte Verkehrszelle Flächen, die für eine Bebauung bzw. Neunutzung ungeeignet sind. Um diese Flächen herauszufiltern, wurden die Verkehrszellen mit ATKIS-Landnutzungsdaten verschnitten. Würden diese nicht herausgefiltert, dann würde das Modell Potentiale berechnen, die womöglich niemals gehoben werden könnten. Es eröffnen sich deshalb zwei Ansätze der Berechnung von Strukturpotentialen, welche vorab festgelegt werden müssen:

1. Wenn der Fokus der Untersuchung sowohl auf siedlungsstruktureller Verdichtung als auch auf der Ausweisung neuer Siedlungsflächen liegt, so sollten mittels der ATKIS-Daten Flächen wie Gewässer, Grün- und Freiflächen (Parks, Wälder), aber auch nicht nutzbare Flächen wie beispielsweise Friedhöfe oder sonstige großflächige Anlagen (Flughäfen, Gleisanlagen) herausgefiltert werden.
2. Wenn der Fokus **nur** auf Verdichtung der Siedlungsfläche liegen soll, wie im vorliegenden Beispiel, muss zusätzlich die landwirtschaftliche Fläche herausgefiltert werden. Auf diese Weise werden bei der Berechnung der

Strukturdichte nur die im Bestand bereits als Siedlungsfläche kartierten Flächen berücksichtigt. Dadurch ergibt sich eine höhere Siedlungsdichte als unter Berücksichtigung des zusätzlichen möglichen Baulands in Form von landwirtschaftlicher Fläche. In der Folge beziehen sich die ausgewiesenen Strukturpotentiale auf die Nachverdichtung der Bestandsflächen und eben nicht auf neu auszuweisende Bauflächen auf vormals landwirtschaftlicher Fläche.

In Abbildung 8 werden die Flächen für die Variante mit landwirtschaftlichen Flächen (links) und für die Variante ohne landwirtschaftliche Flächen (rechts) dargestellt. Deutlich wird, dass die besiedelte Fläche nur einen Teil der Gesamtfläche innerhalb des MVV ausmacht.

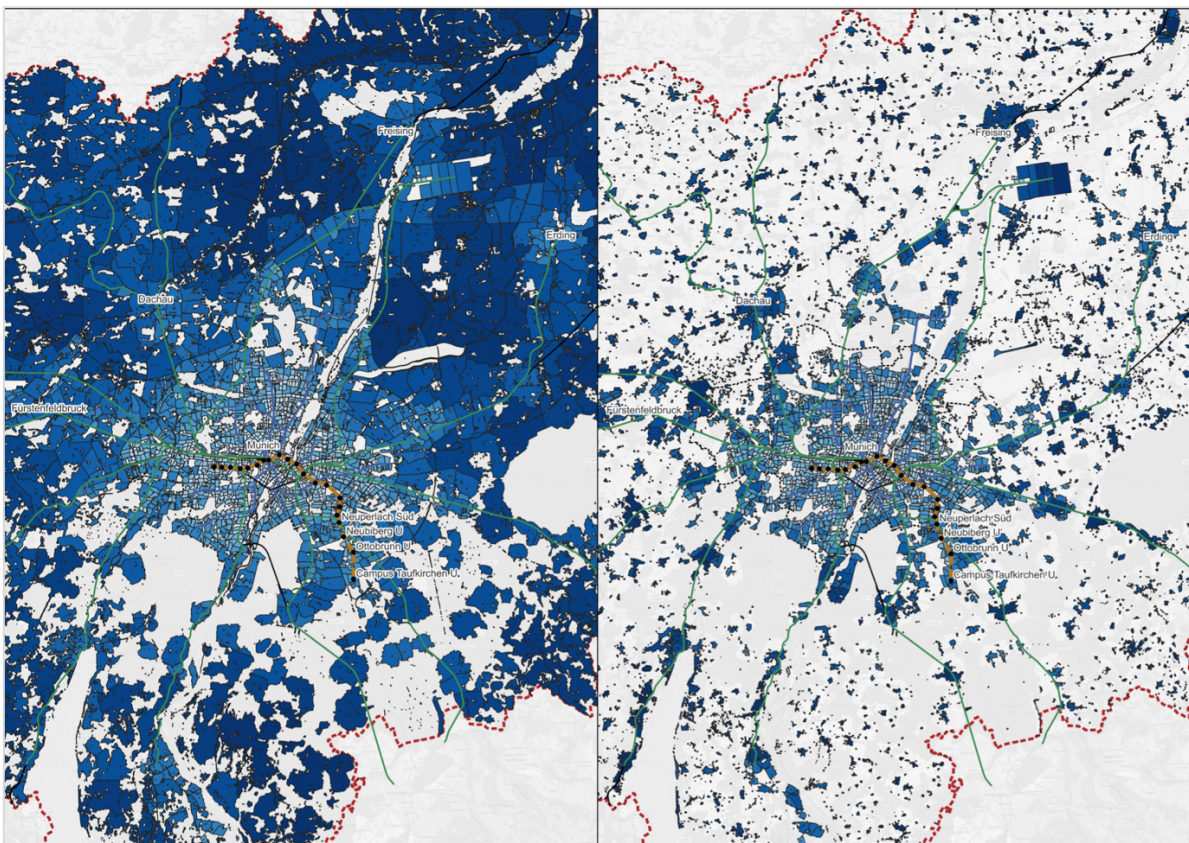


Abbildung 8 Vergleich der für die Berechnung der Strukturdichte berücksichtigten Flächen je Verkehrszelle (links mit, rechts ohne landwirtschaftliche Flächen). Quelle: Eigene Darstellung unter Verwendung der in Abschnitt 2.4 angegebenen Datenquellen (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2022; Geodatenservice München, 2019b, 2019a; Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2019, 2022; OpenStreetMap contributors, 2024a, 2024d).

Die Zahl der Einwohnerinnen und Erwerbstätigen in jeder Verkehrszelle summieren wir zu „Struktur“. Struktur in dieser Form wurde aus zwei Gründen gewählt. Erstens hängt die Anzahl der Wege von und zu einer Verkehrszelle sowohl von der Anzahl der dort

arbeitenden als auch der dort wohnenden Personen ab. Zweitens sind in der Fallstudie dafür bereits Daten aus der MVV-Datenbasis (Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2022) verfügbar. Zukünftige Anwendungen könnten zusätzlich Verkaufs- oder sonstige Flächen zur Berechnung des *Place* Werts heranziehen. Wir bezeichnen die Strukturdaten aus der MVV-Datenbasis als „Struktur im Ohnefall 2035“. Diese Struktur wird nun mittels der Fläche (ohne landwirtschaftliche Flächen) in eine Strukturdichte je Verkehrszelle überführt. Dies schafft Vergleichbarkeit zwischen den Verkehrszellen, die sonst unterschiedliche Flächen haben. Jeder Verkehrszelle im MVV-Gebiet sind nun Erreichbarkeitswerte im Ohne- und Mitfall und eine Strukturdichte zugewiesen.

Nun kann die Strukturdichte und der Erreichbarkeitsindex im Ohnefall für den ÖPNV in einen Zusammenhang nach Bertolini (1999) gebracht werden, der in der folgenden Abbildung 9 dargestellt ist. Auf der X-Achse ist der ÖPNV-Ereichbarkeitsindex, auf der Y-Achse die Strukturdichte aufgetragen: Je höher der ÖPNV-Ereichbarkeitsindex, desto höher ist die Strukturdichte einer Verkehrszelle. Die Abbildung 9 verdeutlicht weiterhin, dass ein Großteil der Verkehrszellen eine Strukturdichte unter 25.000 Einwohner und Erwerbstätige je Quadratkilometer und einen ÖPNV-Ereichbarkeitsindex von unter 20 hat. Visuell betrachtet ist der Zusammenhang im MVV-Gebiet, im Gegensatz zu Bertolinis Node-Place-Modell (1999), jedoch nicht linear. Als Modell für die Modellierung des Zusammenhangs nutzen wir deshalb eine lokal gewichtete Streudiagramm-Glättungsregression (LOESS). Dieses Modell erfordert keine Annahme des globalen Zusammenhangs der zugrundeliegenden Daten, bspw. linear oder quadratisch, und ist somit flexibler in der Modellierung von nicht-linearen Zusammenhängen. Denn die LOESS-Funktion schätzt eine nicht-lineare Regressionsfunktion für jeden einzelnen Datenpunkt. Dazu wird nur eine Teilmenge der Daten im lokalen Umfeld des Datenpunkts verwendet. Anschließend lässt sich durch die Schätzwerte eine Glättungsfunktion legen. Diese ist in Abbildung 9 für alle Verkehrszellen im MVV dargestellt.

Das bedeutet, dass je nach Lage einer Verkehrszelle im Zusammenhang unterschiedlich stark gewichtete Potentiale entstehen. Da mit steigender Erreichbarkeit auch die Anzahl an Verkehrszellen sinkt, entsteht eine ungleichmäßige Verteilung der Datenpunkte. Diese Unausgewogenheit führt zu einer gewissen Unsicherheit in der Regressionskurve, die sich im R^2 -Wert von 0,55 widerspiegelt.

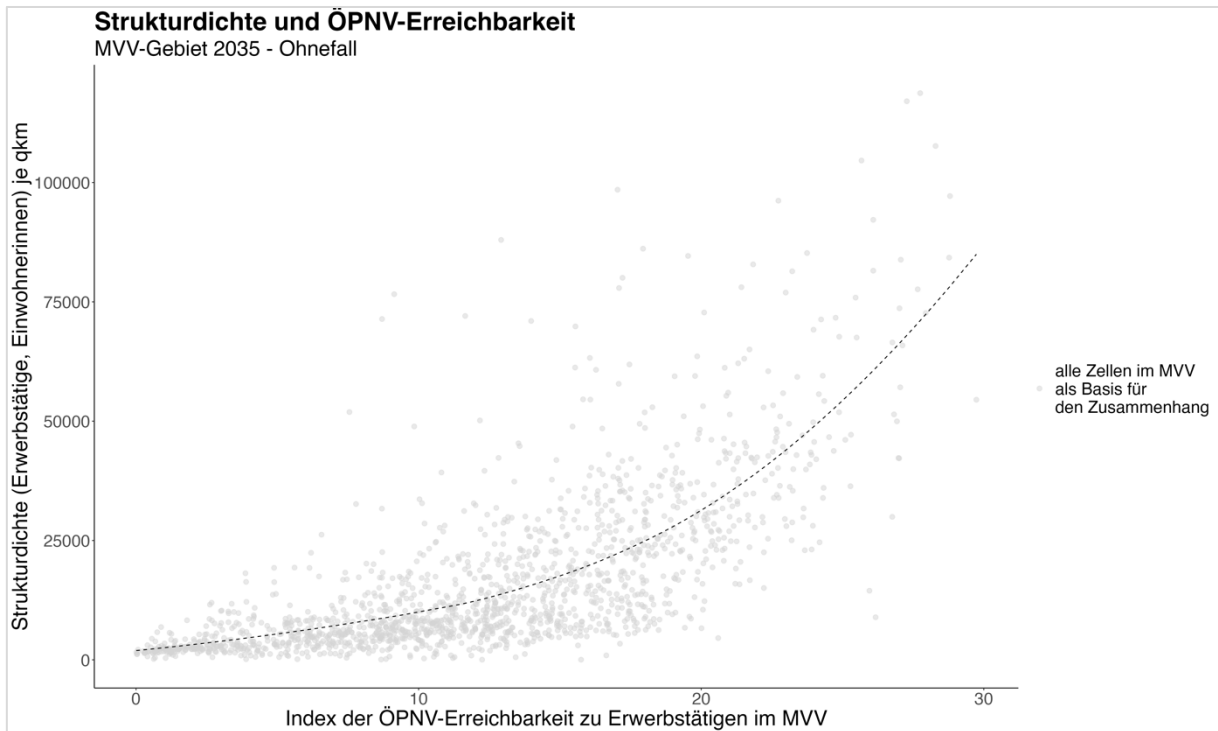


Abbildung 9 Zusammenhang aus Strukturdichte und Erreichbarkeitsindex. Quelle: Eigene Darstellung.

Nun wird für jede Verkehrszelle der ÖPNV-Erreichbarkeitswert im Mitfall aufgetragen. Mittels Dreisatzes und der lokalen Steigung kann nun die potentielle Strukturdichte im Mitfall 2035 berechnet werden. Je höher die lokale Steigung, desto mehr potentielle Strukturdichte 2035 wird berechnet. Wir verwenden dazu die folgende Formel 5:

$$\begin{aligned}
 S_{i(\text{Potential})} = & S_{i(\text{Ohnefall})} \\
 & + (E_{i,\text{ÖPNV},w(\text{Mitfall})} - E_{i,\text{ÖPNV},w(\text{Ohnefall})}) \\
 & \times f'_{\text{LOESS}}(E_{i,\text{ÖPNV},w(\text{Ohnefall})})
 \end{aligned} \tag{5}$$

In Formel 5 bezeichnet $S_{i(\text{Potential})}$ die potentielle Strukturdichte 2035 je Verkehrszelle i . Die Formel beinhaltet die Strukturdichte im Ohnefall 2035 ($S_{i(\text{Ohnefall})}$), die Differenz aus ÖPNV-Erreichbarkeit im Mitfall ($E_{i,\text{ÖPNV},w(\text{Mitfall})}$) und ÖPNV-Erreichbarkeit im Ohnefall ($E_{i,\text{ÖPNV},w(\text{Ohnefall})}$), multipliziert mit der Ableitung der LOESS-Funktion. Wir betrachten nur positive Änderungen der Strukturdichte. In Abbildung 10 wird dieser Zusammenhang, inklusive der potentiellen Strukturdichte im Mitfall 2035 dargestellt. Um das Ergebnis übersichtlich zu halten, wurden nur die Verkehrszellen ausgewählt, die entlang der U-

Bahn U5 verlaufen. Diese Auswahl kann beliebig getroffen werden und stellt nur eine visuelle Filterung dar.

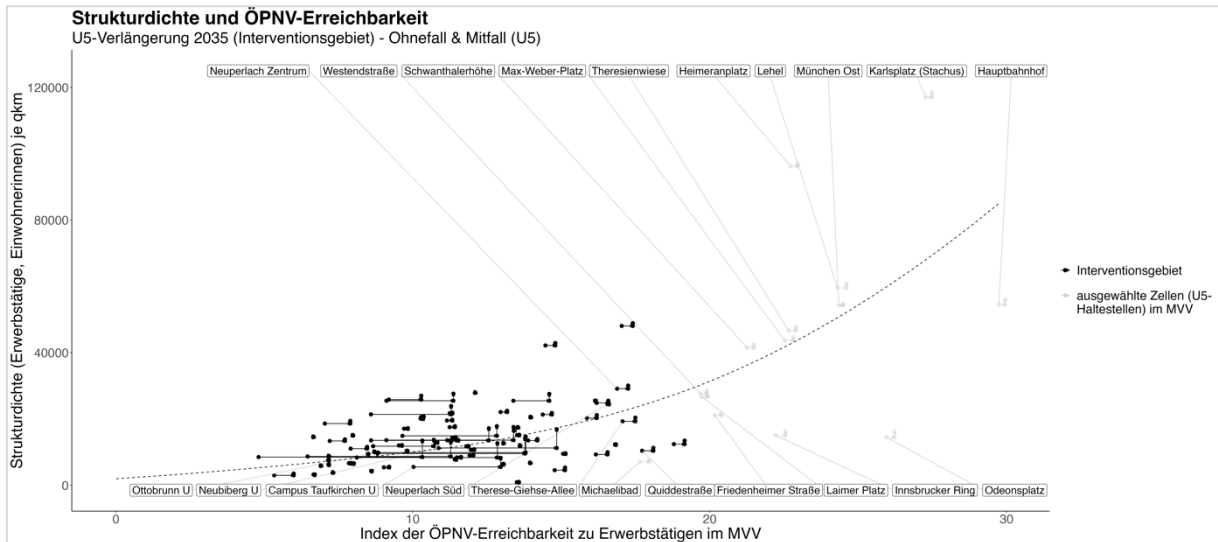


Abbildung 10 Veränderung der Erreichbarkeitsindizes und der potentiellen Strukturdichte für ausgewählte Zellen entlang der U5. Quelle: Eigene Darstellung.

Der letzte Schritt führt die Strukturdichte wieder in absolute Struktur je Verkehrszelle zurück, indem die Strukturdichte mit der zu Grunde gelegten Fläche je Verkehrszelle multipliziert wird. Das zusätzliche Strukturpotential im Mitfall entspricht dann dem Saldo aus der potentiellen Struktur 2035 im Mitfall und der prognostizierten Struktur 2035 im Ohnefall.

2.2. Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich

Grundsätzlich sollten Standorte dort entwickelt und gebündelt werden, wo eine hohe Erreichbarkeit mit dem ÖPNV gegeben ist – in den meisten Fällen also im Umfeld einer Station des schienengebundenen ÖPNV. Dies soll zum einen eine verstärkte Nutzung des ÖPNV fördern, zum anderen eine kompaktere und nicht am motorisierten Individualverkehr ausgerichtete Siedlungsentwicklung unterstützen (Noland et al., 2017; Renne, 2009). Auch kann die Aufenthaltsqualität durch Umgestaltung und Aufwertung des Stationsumfelds steigen. Ein Teil der Standortentwicklung ist die Ansiedlung von zentralen Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich, z.B. Hochschulen, Krankenhäuser, oder Kultureinrichtungen.

Um eine integrierte Planung von Siedlungsstruktur und Verkehr zu unterstützen, werden deshalb Standortpotentiale für diese zentralen Einrichtungen ermittelt. Die Methodik operationalisiert das Konzept der transitorientierten Entwicklung (*TOD*). Entsprechend sollten zentrale Einrichtungen dort vorgehalten werden, wo sie besonders gut mit dem ÖPNV erreicht werden können. In der Fallstudie werden drei Kategorien zentraler Einrichtungen betrachtet:

- Bildung (weiterführende Schulen und Hochschulen)
- Gesundheit (Krankenhäuser, medizinische Versorgungszentren im Landkreis)
- Kultur (Museen, Theater, Bibliotheken)

Die vorliegende Analyse verwendet einen Erreichbarkeitsindex zur Bevölkerung der gesamten MVV-Region $E_{i,\text{ÖPNV},p}$ (vgl. Abschnitt 2.1). Entsprechend werden hier zentrale Einrichtungen untersucht, die einen regionalen Einzugsbereich haben. Einrichtungen der lokalen Nahversorgung – z.B. Grundschulen, Arztpraxen, Apotheken, Supermärkte – werden im hier gewählten regionalen Betrachtungsmaßstab ausgeklammert.

Die bestehenden zentralen Einrichtungen in der MVV-Region werden zunächst kartiert. Im Anschluss werden alle potentiellen Standorte für mögliche zusätzliche zentrale Einrichtungen ermittelt. An einen potentiellen Standort werden zwei Kriterien angelegt:

1. Fußläufige Erreichbarkeit:

Die maximale fußläufige Entfernung von/zu einer Eisenbahn-, S-Bahn-, oder U-Bahn-Station beträgt 500 Meter. In der *TOD*-Literatur werden verschiedene fußläufige Distanzen (*walkability*) um eine ÖPNV-Station diskutiert, die sich meist im Bereich von 250 bis 800 Metern oder etwa 10 Gehminuten bewegen (Singh et al., 2017). Für diese Analyse wurde ein defensiverer Wert von 500 Metern als Isodistanz gewählt. Dies entspricht dem Bereich, der innerhalb von 500 Metern um eine Station auf Basis des OpenStreetMap (OSM)-Straßennetzes erreichbar ist.

2. Überdurchschnittliche ÖPNV-Erreichbarkeit:

Der ÖPNV-Erreichbarkeitsindex $E_{i,ÖPNV,p}$ der Verkehrszelle(n) im Umkreis von 500m um die Station ist höher als der Mittelwert $\bar{E}_{i,ÖPNV,p} = \frac{E_{i,ÖPNV,p}}{n}$ aller Verkehrszellen n in der MVV-Region. Der Erreichbarkeitsindex $E_{i,ÖPNV,p}$ misst, wie gut Bevölkerung im MVV ausgehend von einer Verkehrszelle erreichbar ist (vgl. Abschnitt 2.1). Der Index kann umgekehrt interpretiert werden: Je höher der Index, desto besser kann die Bevölkerung die Verkehrszelle mit der zentralen Einrichtung erreichen.

Die Potentiale können sowohl mit den Erreichbarkeitsindices im Ohnefall und im Mitfall berechnet werden. Die ermittelten Potentiale im Ohnefall zeigen auf, wo auch ohne das untersuchte Verkehrsinfrastrukturprojekt geeignete Standorte für zentrale Einrichtungen liegen. Durch Vergleich der ermittelten Potentiale im Mitfall und Ohnefall wird ersichtlich, wo zusätzlich Potentiale bei Umsetzung des Verkehrsinfrastrukturprojekts entstehen.

2.3. Daten

Für die hier präsentierten methodischen Ansätze wurden Daten aus verschiedenen Quellen herangezogen und miteinander verknüpft. Diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Datengrundlagen für die Analysen

Verwendungszweck	Daten	Beschreibung	Datenquelle
ÖPNV-Erreichbarkeit	Verkehrszellen	Räumliche Einteilung des MVV-Gebiets in einzelne Verkehrszellen unter Berücksichtigung administrativer Grenzen	MVV-Datenbasis (Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2019, 2022)
	Strukturdaten	Einwohner und Erwerbstätige je Verkehrszelle, für Analysejahr 2019 und Prognosejahr 2035 ohne U5-Verlängerung	MVV-Datenbasis (Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2022); NKU U5 Süd (Intraplan, 2023)
	Widerstandsmatrizen ÖPNV	Widerstandsmatrizen ÖPNV für Ohnefall 2035 und Mitfall U5 2035, berechnet nach dem Verfahren der Standardisierten Bewertung	NKU U5 Süd (Intraplan, 2023)
Strukturpotentiale	Berechnete ÖPNV-Erreichbarkeitsindices zu Erwerbstätigen im MVV	Berechneter Index $E_{i, \text{ÖPNV}, w}$ je Verkehrszelle	Eigene Berechnung, s. oben
	Amtliches Digitales Basis-Landschaftsmodell (ATKIS) 2022	Landnutzungsdaten für das MVV-Gebiet. Gewählte Ebenen: 41001 AX_Wohnbauflaeche; 41002 AX_IndustrieUndGewerbeflaeche; 41005 AX_TagebauGrubeSteinbruch; 41006 AX_FlaecheGemischterNutzung; 41007 AX_FlaecheBesondererFunktionalerPraegung; 41008 AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche; 41009 AX_Friedhof	ATKIS® - Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2022)
Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich	Bestehende Bildungseinrichtungen	Punktstandort je Bildungseinrichtung. Daten erhoben und vervollständigt mittels ATKIS & OSM-Daten. Auswahl: Gymnasium; Realschule; Mittelschule; Berufsschule; Fachschule; Sonstige (bspw. Förderschule); Universität; Hochschule	ATKIS® - Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2022); OpenStreetMap

Verwendungszweck	Daten	Beschreibung	Datenquelle
			(OpenStreetMap contributors, 2024a)
	Bestehende Gesundheitseinrichtungen	Punktstandort je Gesundheitseinrichtung. Daten erhoben und vervollständigt mittels ATKIS & OSM-Daten. Auswahl: Krankenhaus; Medizinisches Versorgungszentrum in den Landkreisen	ATKIS® - Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2022); OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors, 2024a)
	Bestehende Kultureinrichtungen	Punktstandort je Kultureinrichtung. Daten erhoben und vervollständigt mittels ATKIS & OSM-Daten. Auswahl: Museum; Oper; Konzerthaus; Theater; Staats-/ Landesbibliothek; Universitätsbibliothek; Stadtbibliothek	ATKIS® - Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2022); OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors, 2024a)
	Berechnete ÖPNV-Erreichbarkeitsindices zu Bevölkerung im MVV	Berechneter Index $E_{i,\text{ÖPNV},p}$ je Verkehrszelle	Eigene Berechnung, s. oben

3. Ergebnisse der Fallstudie

Nun werden die Ergebnisse der methodischen Ansätze anhand der Fallstudie der möglichen U5-Verlängerung in den südlichen Landkreis München präsentiert.

3.1. Strukturpotentiale

Tabelle 2 stellt die Strukturdaten für das MVV-Gebiet im Jahr 2019 und in der Prognose ohne U5-Verlängerung für das Jahr 2035 dar. Zusätzlich sind die Summen der Strukturpotentiale für das gesamte MVV-Gebiet, sowie in den Stadtbezirksteilen und Kommunen im Landkreis München im engeren Gebiet um die U5-Verlängerung – dem sogenannten Interventionsgebiet – aufgeführt.

Tabelle 2 Strukturentwicklung in der MVV-Region in ihrer Gebietsabgrenzung 2019 sowie im Interventionsgebiet der U5-Verlängerung mit den Stadtbezirksteilen Altperlach und Neuperlach sowie den Kommunen Neubiberg, Ottobrunn, Taufkirchen, Unterhaching und Hohenbrunn. Aufgrund ihrer Nähe zum Verlauf der U5 werden jeweils zwei zusätzliche Verkehrszellen aus der Gemeinde Brunnthal und dem Stadtbezirksteil Waldperlach aufgeführt.

Strukturentwicklung	[Einwohnerinnen + Erwerbstätige]			
	2019	2035	Δ 2019-2035 Ohnefall	zusätzliches Potential im Mitfall ¹
MVV-Gebiet	4.797.300	5.279.200	+481.900	+39.500²
<i>davon Brunnthal & Waldperlach (jeweils 2 Verkehrszellen)</i>	6.000	7.600	+1.600	+500³
davon Interventionsgebiet	252.000	298.000	+46.000	+18.900⁴
<i>Altperlach, Neuperlach</i>	104.500	115.300	+10.800	+2.000
<i>Neubiberg, Ottobrunn, Taufkirchen, Unterhaching, Hohenbrunn</i>	147.500	182.700	+35.200	+16.900

¹ Eine (positive) Änderung der ÖPNV-Erreichbarkeit ergibt eine **latente Nachfrage** nach Wohnraum und Erwerbstätigkeit. Diese (positive) Änderung der Nachfrage erhöht den **Siedlungsdruck**. Durch entsprechende Angebote (Nachverdichtung) kann dieses **Potential** gehoben werden.

² Gesamtsumme aller Verkehrszellen innerhalb des MVV-Gebiets.

³ Aufgrund ihrer besonderen Nähe zur Verlängerung der U5 im Interventionsgebiet wird ein mögliches, zusätzliches Potential hier gesondert ausgewiesen.

⁴ Das **Interventionsgebiet** ist gemeinde- bzw. stadtbezirksteilscharf abgetrennt.

Quelle: Mathias Heidinger & Jonas Horlemann 2024. MVV-Datenbasis 2022. Eigene Berechnungen.

Dieses Ergebnis kann mittels GIS visualisiert werden, wie in Abbildung 11 zu sehen ist. Hier verdeutlichen dunklere Farbtöne ein höheres Strukturpotential je Verkehrszelle.

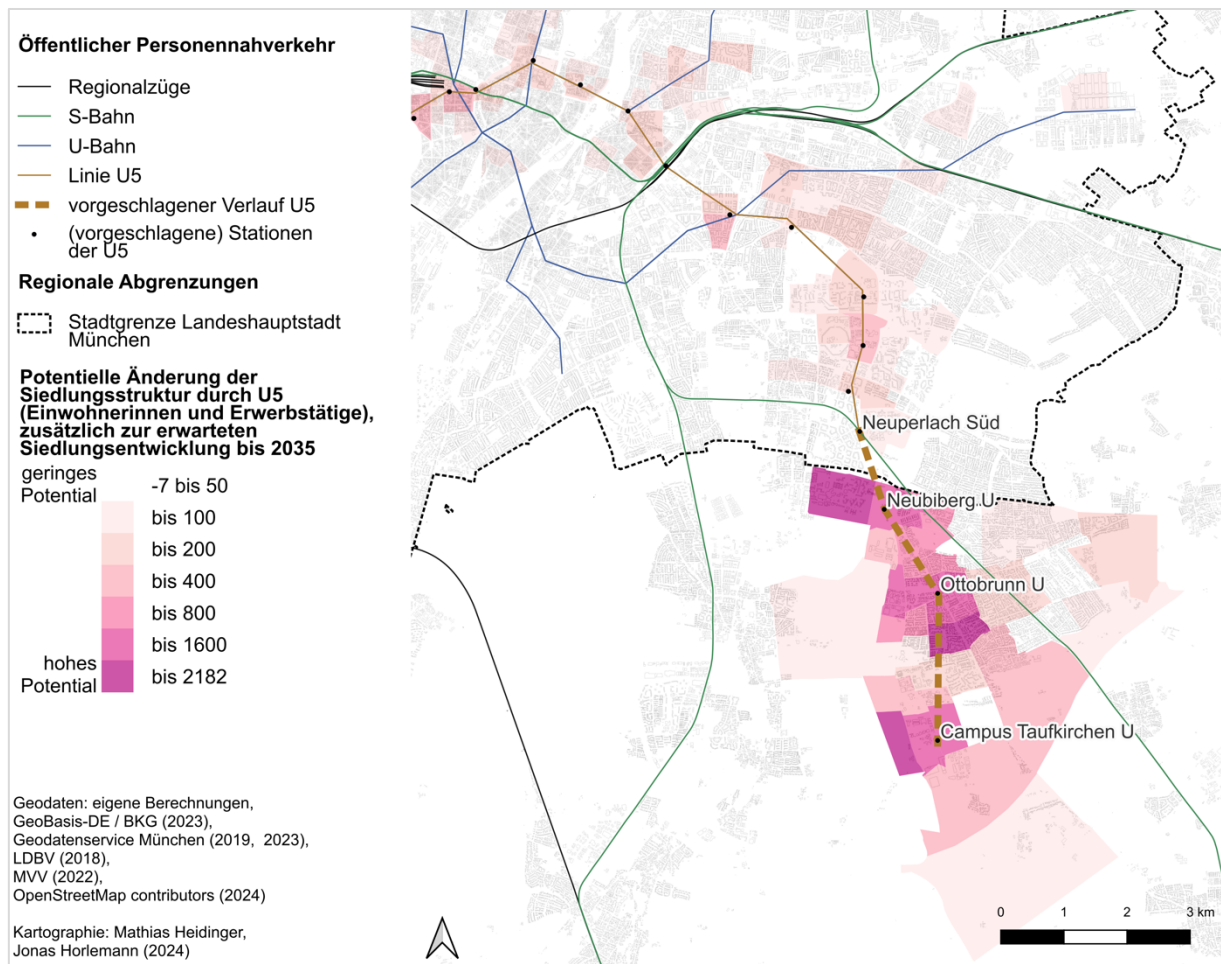


Abbildung 11 Visualisierte Strukturpotentiale. Quelle: Eigene Darstellung und Berechnungen, unter Verwendung angegebener Datenquellen (Geodatenservice München, 2019b, 2019a, 2023; Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV), 2018; Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2022, S. 20; OpenStreetMap contributors, 2024b, 2024d).

Aus Abbildung 11 wird deutlich, dass Strukturpotentiale nicht nur direkt an den potentiellen Stationen der U5-Verlängerung entstehen – obgleich sie hier am deutlichsten auftreten – sondern auch in anderen Bereichen, in denen sich die Erreichbarkeit verbessert. Durch die geringfügige Verbesserung der ÖPNV-Erreichbarkeit im Stadtgebiet München aufgrund der Taktverdichtungen auf der U5 ergeben sich auch hier Strukturpotentiale.

3.2. Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich

Abbildung 12 veranschaulicht die Ergebnisse für den Münchner Südosten. In der Abbildung sind alle bisherigen Standorte zentraler Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich dargestellt und in die Kategorien Bildung, Gesundheit und Kultur unterteilt. Zusätzlich sind die bereits im Ohnefall bestehenden Potentiale als rosafarbene Bereiche mit 500m-Isodistanzen um Eisenbahn-, S-Bahn-, und U-Bahn-Stationen eingezeichnet.

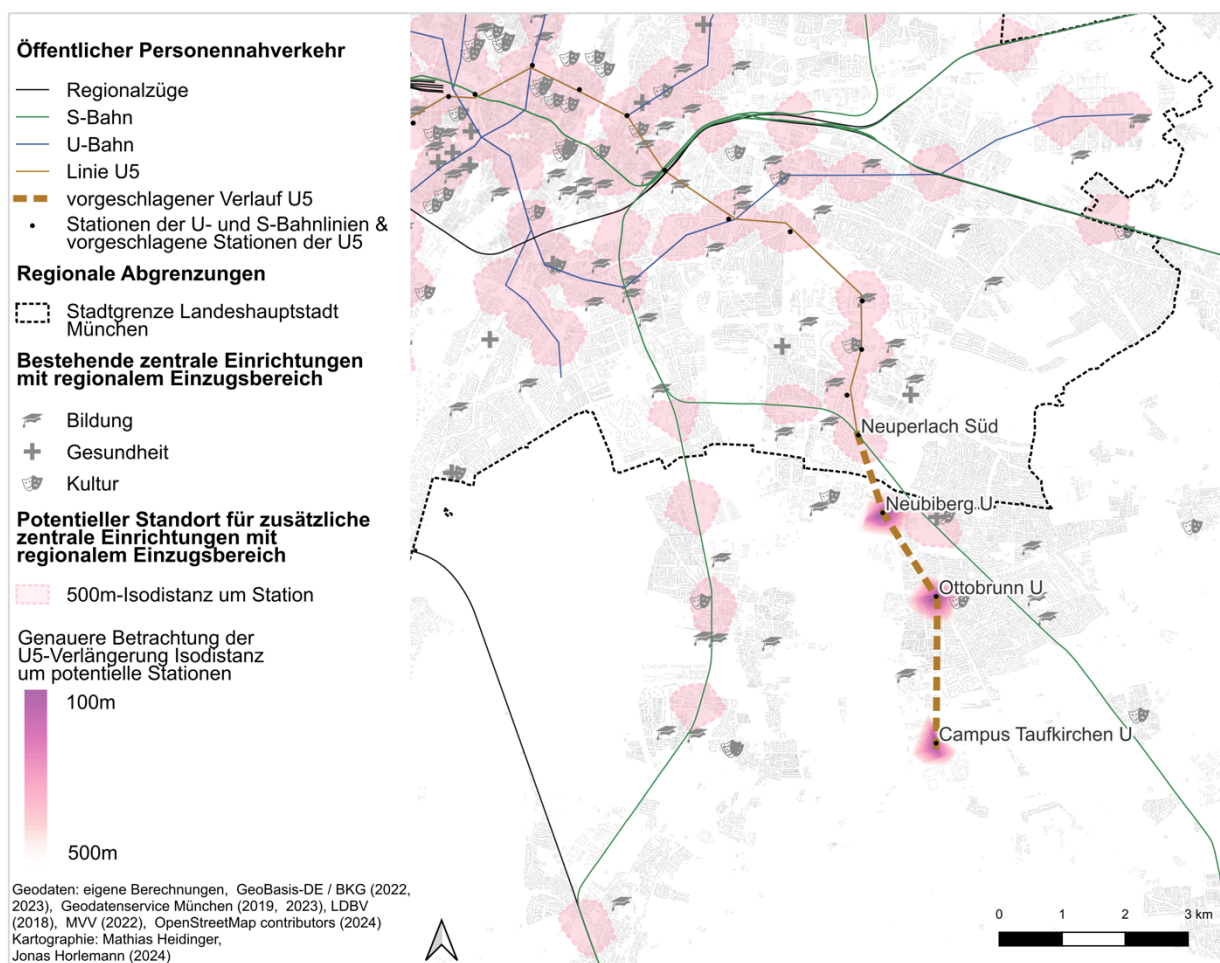


Abbildung 12 Visualisierte Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich. Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung, unter Verwendung angegebener Datenquellen (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2023; Geodatenservice München, 2019b, 2019a; Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV), 2018; Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV), 2022; OpenStreetMap contributors, 2024b, 2024a, 2024c).

In Abbildung 12 wird deutlich, dass vor allem das Stadtgebiet der Landeshauptstadt München eine Vielzahl potentieller Standorte bietet. Diese Anzahl potentieller Standorte nimmt mit zunehmender Distanz vom Stadtzentrum ab, weil dann tendenziell auch die

ÖPNV-Erreichbarkeit abnimmt. Dies ist beispielsweise entlang der S-Bahn-Achsen Richtung Südosten ersichtlich.

Im Mitfall entstehen durch die U5-Verlängerung weitere potentielle Standorte im Umfeld der drei neuen U-Bahn-Stationen in Neubiberg, Ottobrunn und Taufkirchen. Diese sind mit einem farbgraduellen Verlauf hervorgehoben.

Die hier dargestellten Methoden und Ergebnisse können als weiteres Werkzeug für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung dienen, um transitorientierte Entwicklung gezielter voranzutreiben.

4. Diskussion

Tabelle 3 liefert eine Übersicht über die Vorteile und die Limitationen der einzelnen Methoden und Ergebnisse. Diese werden nachfolgend einzeln eingeordnet.

Tabelle 3 Übersicht der Vorteile und Limitationen der einzelnen Methoden und Ergebnisse.

Aspekt	Vorteile	Limitationen
ÖPNV-Erreichbarkeit	Geeignete Abbildung der regionalen Verflechtungen mittels Gravitationserreichbarkeit; dadurch gewichtete Erreichbarkeit zu allen Zielen berücksichtigt	<ul style="list-style-type: none"> - Schwierigere Interpretation im Vergleich zu anderen Erreichbarkeitsmaßen, die z.B. die ungewichtete Anzahl erreichbarer Arbeitsplätze messen - Abhängig von Abgrenzung des Untersuchungsraums - Subjektive Wahrnehmung nicht berücksichtigt
Strukturpotentiale	<ul style="list-style-type: none"> - Einfache Anwendbarkeit ohne integriertes Flächennutzungsmodell - Zusätzliche Anwendbarkeit in der Stadtplanung möglich (z. B. für die Analyse bestehender Erreichbarkeitsdefizite oder Strukturpotentiale) 	<ul style="list-style-type: none"> - „Status Quo bias“: Bestimmung des Strukturpotentials auf Basis des gegenwärtigen Zusammenhangs aus Siedlungsstruktur und ÖPNV-Erreichbarkeit anstelle eines angestrebten Ziel-Szenarios - Fehlende Rückkopplung mit tatsächlich verfügbaren Flächen für Nachverdichtung: Unsicherheit, ob die Potentiale tatsächlich gehoben werden können - Begleitmaßnahmen nötig, z.B. Mobilitätskonzepte im Wohnungsbau - Einfluss auf Mieten und Immobilienpreise nicht quantifiziert
Potentiale für zentrale Einrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> - Einfache Anwendbarkeit ohne Flächennutzungsmodell - Zusätzliche Anwendbarkeit in der Stadtplanung möglich (z. B. für die Analyse bestehender Defizite) 	<ul style="list-style-type: none"> - Lokale Expertise / Konkretisierung der Planung nötig - Nicht-Berücksichtigung von nicht beabsichtigten Wirkungen auf das Sozial- und Quartiersgefüge
Genutzte / erforderliche Daten	Nutzung von in der Regel ohnehin bei einer Standardisierten Bewertung vorhandenen Datengrundlagen	<ul style="list-style-type: none"> - Abhängigkeit von (externen) Prozessen der Datenerhebung - Abhängig von Einteilung der Verkehrszellen, keine Differenzierung und Visualisierung unterhalb der Ebene der Verkehrszellen

Aspekt	Vorteile	Limitationen
Ergebnisse aus der Fallstudie	- Potentiale für zusätzliche Siedlungsstruktur und zentrale Einrichtungen vorhanden	- Umgang mit Entstehung von Strukturpotentialen außerhalb des engeren Wirkungsbereichs der Maßnahme nicht definiert - Verkehrliche Wirkungen der Realisierung der Strukturpotentiale nicht quantifiziert

Der verwendete gravitationsbasierte Erreichbarkeitsindex bildet die regionalen Verflechtungen auf geeignete Weise ab, da er die Erreichbarkeit zu allen Einwohnern bzw. Erwerbstätigen des Untersuchungsraums erfasst. Dabei werden schnell erreichbare Ziele höher gewichtet und aufwändig erreichbare Ziele geringer gewichtet. Durch die Gewichtung ist der Index allerdings schwieriger zu interpretieren als alternative Erreichbarkeitsindices. Beispielsweise messen kumulative Erreichbarkeitsindices die Anzahl erreichbarer Einwohner bzw. Erwerbstätiger innerhalb einer bestimmten Reisezeit – z.B. 60 Minuten. Dies ist einfacher kommunizierbar, allerdings mit methodischen Nachteilen verbunden: Erstens gibt es keinen festgelegten maximalen Zeitwert, innerhalb dessen die Ziele als erreichbar gelten. Zweitens würden dann alle Ziele unterhalb des festgelegten Zeitwerts gleich gewichtet werden: Bei einem Zeitwert von 60 Minuten zählt dann die Anzahl erreichbarer Erwerbstätiger innerhalb von 30 Minuten genauso viel wie die Anzahl erreichbarer Erwerbstätiger zwischen 30 und 60 Minuten.

Darüber hinaus ist die Abgrenzung des Untersuchungsraums zu beachten: Dieser sollte ausreichend groß gewählt werden, damit die Erreichbarkeit an den Rändern des Untersuchungsraums nicht unterschätzt wird. Aufgrund der Datenverfügbarkeit in der Fallstudie wurde ausschließlich ein Erreichbarkeitsindex zu Erwerbstätigen und Einwohnern innerhalb der MVV-Region berechnet. Dies führt dazu, dass die Erreichbarkeit an den Rändern der MVV-Region unterschätzt wird, wenn bedeutende Verflechtungen zu Zielen außerhalb der MVV-Region bestehen. Diese Limitation kann durch Wahl eines größeren Untersuchungsraums oder durch sogenannte Kordonzellen, welche durchschnittliche Widerstände und Strukturdaten außerhalb des Untersuchungsraums modellhaft abbilden, aufgehoben werden. Außerdem ist zu beachten, dass berechneten Erreichbarkeitsindices abhängig von der Größe und Verkehrszelleneinteilung des Untersuchungsraums sind. Die in der Fallstudie

berechneten Erreichbarkeitsindices können deshalb nicht direkt mit anderen Untersuchungsräumen verglichen werden.

Außerdem lässt das hier verwendete Erreichbarkeitsmaß keine Rückschlüsse auf gefühlte bzw. subjektive Erreichbarkeiten (*perceived accessibility*) zu. Dies stellt noch einen blinden Fleck in der Verkehrswissenschaft dar, der in einigen Studien auch analytisch diskutiert (bspw. Jehle et al., 2024; van der Vlugt et al., 2019), jedoch bisher nicht abschließend methodisch gelöst werden konnte.

Die Methodik der Strukturpotentiale beruht auf einem Zusammenhang aus Siedlungsstruktur und Erreichbarkeit je Verkehrszelle. Dies ermöglicht es, Potentiale für Strukturansiedlungen mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu ermitteln, insbesondere ohne ein integriertes Verkehrs- und Flächennutzungsmodell. Dieser Zusammenhang führt aber auch einen „Status Quo bias“ ein, da Potentiale immer auf dem gegenwärtigen Zusammenhang bestehen und angestrebte Ziel-Szenarios (noch) nicht berücksichtigt werden. Gleichzeitig eröffnet sich die Frage, wie und in welchem Umfang sich das Strukturpotential tatsächlich heben lässt, da Unsicherheiten im Bestand, z.B. die Eigentumsverhältnisse oder die verfügbare Entwicklungsfläche, einen erheblichen Einfluss auf den Handlungsspielraum ausüben. Besonders in hoch urbanen Räumen, mit gewachsenen Strukturen, ist es deshalb notwendig, eine vertiefte Vorplanung und Analyse durchzuführen, um feststellen zu können, ob diese Potentiale in naher Zukunft überhaupt gehoben werden können. Weiterhin sind für eine effektive Umsetzung weitere Begleitmaßnahmen sinnvoll, z.B. Mobilitätskonzepte im Wohnungsbau. Diese werden auf der gewählten Abstraktionsebene der berechneten Strukturpotentiale nicht abgebildet, sind aber bei einer städtebaulichen Umsetzung dringend anzuraten um das Potential besser heben zu können.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Methodik keine weiteren Effekte wie bspw. Bauland-, Immobilienpreise aber auch Mieten quantifiziert. Studien haben bereits gezeigt, dass die Verbesserung der Angebotsqualität im ÖPNV einen Einfluss auf die Miet- und Kaufpreisbildung haben (vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2015). Aufgrund der Datenverfügbarkeit in der Fallstudie wurden diese Aspekte jedoch nicht berücksichtigt.

Im weiteren Sinne kann die Methodik aber auch unabhängig von der Bewertung neu geplanter Verkehrsinfrastrukturprojekte verwendet werden. So wäre eine Anwendung in der Stadtplanung möglich, um bereits heute bestehende Standorte mit einem unausgewogenen Verhältnis aus ÖPNV-Erreichbarkeit und Siedlungsstruktur zu identifizieren. Diese Methodik könnte daher ein geeigneter Baustein sein, um die Identifikation und Vorplanung geeigneter Entwicklungsgebiete besser zu unterstützen.

Einige Punkte, die bereits auf die Methodik der Strukturpotentiale zutreffen, gelten auch für die Methodik der Potentiale für zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich. So handelt es sich um eine leicht umsetzbare Methode, die hauptsächlich mit bzw. in GIS erstellt wird – und somit im kommunalen Kontext schnell angewandt werden kann. Die Visualisierung von bereits bestehenden zentralen Einrichtungen ermöglicht es, mögliche Defizite festzustellen. Gleichzeitig ist auch hier eine lokale Expertise gefragt, denn nicht jedes Potential, welches durch die Methode identifiziert wird, kann in der Praxis unmittelbar gehoben werden.

Zudem können Eingriffe in das Stadtgefüge durch die Errichtung von zentralen Einrichtungen auch Nachteile für die ansässige Bevölkerung mit sich bringen. So haben wissenschaftliche Studien gezeigt, dass der Bau von Museen, kulturellen Einrichtungen oder sogenannte Star-Architektur das Stadt- bzw. Quartiersgefüge beeinflussen, indem sie bestimmte Bevölkerungsgruppen anziehen oder verdrängen. Analog zur Methodik der Strukturpotentiale kann ein solches Bauvorhaben einen Einfluss auf Bodenpreise und Mietmärkte ausüben, somit einen Aufwertungs- und Verdrängungsprozess auslösen, der durch ein gezieltes Quartiersmanagement gesteuert und ggf. abgemildert werden könnte (Alaily-Mattar et al., 2022; Mathews, 2010).

Ein Vorteil der hier entwickelten Ansätze besteht darin, dass sie weitgehend Daten verwenden, die in der Regel bei der Bewertung von Verkehrsprojekten bereits vorliegen, z.B. Strukturdaten auf Verkehrszellenebene und Reisezeit- und Widerstandsmatrizen aus einem Verkehrsmodell. Jedoch kann es zu Verzögerungen kommen, wenn Kommunen Strukturdatenprognosen erst aktualisieren oder erheben müssen. Auch liegen die Daten möglicherweise nicht in jedem Raum so differenziert wie in dieser Fallstudie vor. Außerdem besteht eine Abhängigkeit von der Verkehrszelleneinteilung. So liegen beispielsweise keine Informationen unterhalb der Ebene der Verkehrszellen vor, weshalb

auch die Visualisierungen der Strukturpotentiale nur auf Verkehrszellebene erfolgen kann. Je feinteiliger die Verkehrszelleneinteilung ist, desto differenzierter können Ergebnisse berechnet und visualisiert werden.

Die Ergebnisse in der Fallstudie deuten auf Potentiale für zusätzliche Siedlungsstruktur und zentrale Einrichtungen mit regionalem Einzugsbereich hin. Diese können in den laufenden Planungs- und Entscheidungsprozesses zur möglichen U5-Verlängerung als Information einfließen. Weiterhin deuten die Ergebnisse darauf hin, dass auch in Bereichen außerhalb des engeren Wirkungsbereichs der U5-Verlängerung Strukturpotentiale entstehen können. Wie mit diesen umzugehen ist, wird im hier vorgestellten Ansatz bisher nicht definiert und wäre Gegenstand weiterer Überlegungen. Außerdem werden die mit der Realisierung der Strukturpotentiale erwarteten verkehrlichen Auswirkungen nicht ermittelt. Dies ist ein möglicher weiterer Forschungsgegenstand, der für die Umsetzung in der Praxis relevant ist und den wir deshalb im nachfolgenden Abschnitt aufgreifen.

5. Empfehlungen für die Praxis

Mit dem hier vorgestellten Baustein liegt grundsätzlich eine gut handhabbare Methode zur Quantifizierung möglicher Wirkungen von ÖPNV-Maßnahmen auf die potentielle Siedlungsdichte vor. Vor einer Anwendung der Methodik in der Planungs- und/oder Bewertungspraxis ist jedoch grundlegend zu prüfen, ob der in Abbildung 9 dargestellte Zusammenhang auf andere Räume übertragbar ist oder ob dieser Zusammenhang stark vom jeweiligen Betrachtungsraum abhängt. Sofern letzteres der Fall ist, sind zunächst stabile Verfahren und entsprechende Anweisungen zu entwickeln, wie diese Zusammenhänge zu quantifizieren sind und wie der für die Quantifizierung geeignete Betrachtungsraum abzugrenzen ist.

Die Identifikation der siedlungsstrukturellen Wirkungen von ÖPNV-Maßnahmen kann eine wichtige Grundlage für die Planung vor Ort sowie für die Bewertung von derartigen Maßnahmen sein.

Für die Planungspraxis geben die bereitgestellten Methoden Hinweise, an welchen Stellen durch die verbesserte ÖPNV-Angebote ein zusätzlicher Siedlungsdruck entsteht und ob sich durch diese Verbesserungen bestimmte Bereiche als besonders geeignet für die Ansiedlung von Einrichtungen herausstellen. Auf dieser Grundlage hätten die Planungsträger vor Ort die Möglichkeit, ihre Flächen- und Ansiedlungsplanung optimal auf die ÖPNV-Infrastruktur auszurichten. Dabei sollten sie auch Mobilitätskonzepte im Wohnungsbau – z.B. reduzierte Stellplatzschlüssel in Verbindung mit einem Mobilitätskonzept für Hausgemeinschaften – von Beginn an berücksichtigen.

Bei der Integration des Bausteins „Strukturpotentiale“ in Bewertungsverfahren ist zu berücksichtigen, dass der entstehende Siedlungsdruck auf Wanderungswünschen beruht, die daraus resultieren, dass die verbesserte ÖPNV-Erreichbarkeit Veränderungen bei den Ansiedlungswünschen (Außenwanderung) bzw. Umsiedlungswünsche (Binnenwanderung) von Unternehmen bzw. Einwohnern auslöst. Dies hat somit notwendigerweise Abwanderungswünsche an anderer Stelle zur Folge.

Die BeneVit-Bewertung (Horlemann et al., 2024) erfasst auf der Seite der Verkehrsmittelnutzer die negativen Folgen ihres Verkehrsverhaltens im Sinne von CO₂-Emissionen und Primärenergieverbrauch. Diese beiden Indikatoren hängen unmittelbar

vom Verkehrsverhalten der Nutzer ab. Maßgebliche Wirkungen auf die Indikatoren sind also zu erwarten, wenn sich das Verkehrsaufkommen sowie Ziel- und Verkehrsmittelwahl der Nutzer an der Quelle der Wanderungsbewegung (d.h. im Ohnefall) vom Verkehrsverhalten nach Neuansiedlung im Interventionsgebiet (d.h. im Mitfall) unterscheidet. Die Wirkungen einer Änderung der Siedlungsstruktur im BeneVit-Kontext hängen somit davon ab,

- in welchem Maße im Interventionsgebiet dem zusätzlichen Siedlungsdruck nachgegeben wird, indem Nachverdichtung zugelassen wird oder weitere Flächen zur Strukturentwicklung bzw. Ansiedlung von zentralen Einrichtungen ausgewiesen werden;
- an welcher Stelle außerhalb des Interventionsgebietes die neu angesiedelte Struktur entfällt.

Der erste Punkt, d.h. die Frage, in welchem Maße zusätzliche Ansiedlungen im Interventionsgebiet zugelassen werden, könnte im BeneVit-Kontext dadurch gelöst werden, dass die Aufsiedlung als Bestandteil eines Maßnahmenpakets in Kombination mit verkehrlichen Pull- und Push-Maßnahmen (vgl. Horlemann et al., 2024) aufgenommen wird.

Hinsichtlich des zweiten Punktes, von wo die zusätzliche Struktur im Interventionsgebiet abwandert, besteht weiterer Entwicklungsbedarf, um hinreichend abgesicherte Prognosemethoden über die Binnen- und Außenwanderung aufgrund von ÖPNV-Maßnahmen in das Bewertungsverfahren zu integrieren.

Grundsätzlich kann der entwickelte Quantifizierungsansatz auch in bestehende Bewertungsverfahren integriert werden. So besteht in der Version 2016+ der Standardisierten Bewertung unter dem Stichwort „Nachverdichtungspotentiale“ die grundsätzliche Möglichkeit, die Strukturpotentiale, für die ein politischer Umsetzungswille besteht, schon bei der Verkehrsprognose des Ohnefalls in die Matrix der Verkehrsbeziehungen einzurechnen (Intraplan & VWI Stuttgart, 2022, S. 44). Einer Bewertung auf dieser Grundlage liegt die Annahme zugrunde, dass die neu angesiedelte Struktur an der Stelle, der sie entzogen wird, ein Verkehrsverhalten aufgewiesen hatte, das dem Verkehrsverhalten im Interventionsgebiet im Ohnefall sehr nahekommt. Auf

diese Weise wird die Frage umgangen, an welcher Stelle die im Mitfall neu angesiedelte Struktur im Ohnefall angesiedelt wäre.

Darüber hinaus wird schon seit langem angeregt, die Auswirkungen von ÖPNV-Maßnahmen auf das Niveau der Mieten und Immobilienpreise als Nutzenwirkungen zu berücksichtigen. So haben sich Vorgängerstudien nicht nur mit der Quantifizierung dieser Wirkungen beschäftigt, sondern auch Überlegungen zur Integration in bestehende Bewertungsverfahren angestellt (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2015). Die Steigerung der Miet- und Immobilienpreise kommt genau dadurch zustande, dass eine Verbesserung der ÖPNV-Erreichbarkeit zusätzliche Ansiedlungswünsche im Einzugsbereich der ÖPNV-Verbesserungen hervorruft.

Zwei Argumente wurden bislang vorgebracht, warum die Steigerungen von Miet- und Immobilienpreisen nicht in die Nutzen-Kosten-Analyse einbezogen werden sollten:

- Durch die Steigerung der Miet- und Immobilienpreise werden lediglich Nutzen zwischen Immobilienbesitzern und ÖPNV-Nutzern umverteilt (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2015, S. 40). Es handelt sich somit um keinen echten Nutzen, sondern eine Art pekuniären externen Effekt.
- Die in der Standardisierten Bewertung ermittelten Nutzen auf Seiten der ÖPNV-Nutzer übersteigt die quantifizierten Wirkungen auf Miet- und Immobilienpreise um ein Vielfaches. Somit besteht genügend Nutzen auf Seiten der ÖPNV-Nutzer für eine Umverteilung auf die Immobilienbesitzer (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2015, S. 44).

Diese Argumente verkennen jedoch, dass die in der Standardisierten Bewertung quantifizierten Nutzen nur aus der Struktur resultieren, die bereits im Ohnefall im Untersuchungsraum angesiedelt ist. Die Auswirkungen auf die Miet- und Immobilienpreise resultieren aber gerade aus den Ansiedlungswünschen zusätzlicher Einwohner, Unternehmen oder Einrichtungen im Mitfall mit verbesserter ÖPNV-Erreichbarkeit (unabhängig davon, ob diese realisiert werden können oder nicht). Somit kann es sich nicht um eine Umverteilung von (bereits quantifizierten) Nutzen handeln.

Eine Umverteilung kann lediglich in räumlicher Hinsicht entstehen, wenn die Miet- und Immobilienpreise in den durch die ÖPNV-Maßnahme von Abwanderung bedrohten Gebieten sinken. Grundsätzlich spricht nichts dagegen, Miet- und Immobilienpreisänderungen in das Standardisierte Bewertungsverfahren zu integrieren. Voraussetzung hierfür ist, dass diese Änderungen maßnamespezifisch quantifiziert werden können, und zwar sowohl die Preissteigerungen im Auswirkungsbereich der ÖPNV-Maßnahme als auch ggf. die Preissenkungen im restlichen Untersuchungsgebiet.

Literaturverzeichnis

Aebischer, C., Baumann, S., Bernauer, T., Blatti, G., Christie, D., Dunkel, K., Hauller, S., Hürzeler, B., Kaufmann, D., Lutz, E., Müller, S. M., Munafò, S., Stadler Benz, P., Stauffacher, M., Viganò, P., Wehrle, C., & Wicki, M. (2022). *Co-Creating Mobility Hubs (CCMH) – Ein transdisziplinäres Forschungsprojekt der SBB zusammen mit der ETH Zürich und der EPF Lausanne*. (S. 177 p.) [Application/pdf]. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000549806>

Alaily-Mattar, N., Lindsay, G., & Thierstein, A. (2022). Star architecture and urban transformation: Introduction to the special issue. *European Planning Studies*, 30(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1961691>

Banister, D. (2011). Cities, mobility and climate change. *Special section on Alternative Travel futures*, 19(6), 1538–1546. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.03.009>

Bertolini, L. (1996). Nodes and places: Complexities of railway station redevelopment. *European Planning Studies*, 4(3), 331–345. <https://doi.org/10.1080/09654319608720349>

Bertolini, L. (1998). Station area redevelopment in five European countries: An international perspective on a complex planning challenge. *International Planning Studies*, 3(2), 163–184. <https://doi.org/10.1080/13563479808721707>

Bertolini, L. (1999). Spatial Development Patterns and Public Transport: The Application of an Analytical Model in the Netherlands. *Planning Practice and Research*, 14(2), 199–210. <https://doi.org/10.1080/02697459915724>

Bisang, H., Witter, R., & Scherrer, I. (2023). *Verkehrsdrehscheiben—Erkenntnisse aus verschiedenen Grundlagenstudien* [Synthesebericht]. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Sektion Agglomerationsverkehr.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). (2022). *ATKIS®—Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM)* (Nos. 66656563-c818-4587-bde1-f4bed2787851) [Dataset].

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). (2023). *Verwaltungsgebiete* [Dataset]. <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/verwaltungsgebiete.html>

Bundeshaushaltsordnung vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1284), die zuletzt durch Artikel 21 des Gesetzes vom 20. August 2021 (BGBl. I S. 3932) geändert worden ist (2021). <https://www.gesetze-im-internet.de/bho/BHO.pdf>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). (2015). *Ökonomischer Mehrwert von Immobilien durch ÖPNV-Erschließung* (BBSR-Online-Publikation 11/2015).

Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2023). *Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz* (GVFG). <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-schienepersonenverkehr/gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz-gvfg.html>

Cervero, R., Ferrell, C., & Murphy, S. (2002). Transit-oriented development and joint development in the United States: A literature review. *TCRP research results digest*, 52.

Geodatenservice München. (2019a). *S-Bahn–Linien* [Dataset].

Geodatenservice München. (2019b). *U-Bahn–Linien* [Dataset].

Geodatenservice München. (2023). *Stadtviertel der Landeshauptstadt München* [Dataset]. https://opendata.muenchen.de/dataset/vablock_viertel_opendata

Geurs, K., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>

Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73–76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>

Haushaltsgrundsätze-gesetz vom 19. August 1969 (BGBl. I S. 1273), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 14. August 2017 (BGBl. I S. 3122) geändert worden ist (2017). <https://www.gesetze-im-internet.de/hgrg/HGrG.pdf>

Horlemann, J., Heidinger, M., Wenner, F., & Thierstein, A. (2024). Introducing a Novel Framework for the Analysis and Assessment of Transport Projects in City Regions. *Sustainability*, 16(6), 2349. <https://doi.org/10.3390/su16062349>

Intraplan. (2023). *Nutzen-Kosten-Untersuchung U5 Süd (unveröffentlicht)*.

Intraplan & VWI Stuttgart. (2022). *Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im Öffentlichen Personennahverkehr, Version 2016+, Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr*.
<https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-schienepersonenverkehr/gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz-gvfg.html>

Jehle, U., Baquero Larriva, M. T., BaghaiePoor, M., & Büttner, B. (2024). How does pedestrian accessibility vary for different people? Development of a Perceived user-specific Accessibility measure for Walking (PAW). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 189, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104203>

Kinigadner, J., & Büttner, B. (2021). How accessibility instruments contribute to a low carbon mobility transition: Lessons from planning practice in the Munich region. *Transport Policy*, 111, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.07.019>

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV). (2018). *Hausumringe [Dataset]*. <https://www.ldbv.bayern.de/de/produkte/kataster/hausumringe.html>

Landeshauptstadt München, Referat für Stadtplanung und Bauordnung. (2021). *Zwischenbericht Nahverkehrsplan*.
<https://risi.muenchen.de/risi/sitzungsvorlage/detail/6278313?dokument=v6366980>

Levinson, D., & Wu, H. (2020). Towards a general theory of access. *Journal of Transport and Land Use*, 13(1), 129–158.

Mathews, V. (2010). Aestheticizing Space: Art, Gentrification and the City. *Geography Compass*, 4(6), 660–675. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00331.x>

Müller, C., Glässer, J., Heidinger, M., & Thierstein, A. (2023). Linking knowledge-intensive firm locations with the urban structure of the city of Munich. *disP - The Planning Review*, 59(1), 68–85. <https://doi.org/10.1080/02513625.2023.2229629>

Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV). (2019). *Shapefile für MVV-Umgriff (2019) [Dataset]*.

Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV). (2022). *MVV-Datenbasis* [Dataset].

Noland, R. B., Weiner, M. D., DiPetrillo, S., & Kay, A. I. (2017). Attitudes towards transit-oriented development: Resident experiences and professional perspectives. *Journal of Transport Geography*, 60, 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.02.015>

OpenStreetMap contributors. (2024a). *OpenStreetMap* [Map].

OpenStreetMap contributors. (2024b). *Shapefile mit Linien für Regionalzüge* (No. Shapefile)[Dataset].

OpenStreetMap contributors. (2024c). *Shapefile mit Objekten der Daseinsvorsorge* (No. Shapefile)[Dataset].

OpenStreetMap contributors. (2024d). *Shapefile mit U5 Haltestellen* (No. Shapefile) [Dataset].

Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003>

plan:mobil & Mathias Schmechtig NahverkehrsConsult. (2020). *Fortschreibung des Nahverkehrsplans für den Landkreis München*. Landkreis München. <https://www.landkreis-muenchen.de/themen/mobilitaet/oepnv/nahverkehrsplan/>

Renne, J. (2009). Evaluating Transit-Oriented Development Using a Sustainability Framework: Lessons from Perth's Network City. In S. Tsenkova (Hrsg.), *Planning sustainable communities: Diversity of approaches and implementation challenges* (S. 115–148). Environmental Design, University of Calgary.

Singh, Y. J., Lukman, A., Flacke, J., Zuidgeest, M., & Van Maarseveen, M. F. A. M. (2017). Measuring TOD around transit nodes—Towards TOD policy. *Transport Policy*, 56, 96–111. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.013>

Stadler Benz, P., & Stauffacher, M. (2023). A systemic approach to the transformation of swiss railway stations: Mind the gap between the local, short-term and national, long-

term worldviews. *Transport Policy*, 132, 99–111.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.12.020>

Theler, S., Pozzi, F., Witter, R., Siegrist, M., & Scherrer, I. (2021). *Verkehrsdrehscheiben—Gute Beispiele aus der Schweiz und dem Ausland* [Bericht]. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Sektion Agglomerationsverkehr.

van der Vlugt, A.-L., Curl, A., & Wittowsky, D. (2019). What about the people? Developing measures of perceived accessibility from case studies in Germany and the UK. *Applied Mobilities*, 4(2), 142–162. <https://doi.org/10.1080/23800127.2019.1573450>

Wenner, F., Dang, K. A., Hölzl, M., Pedrazzoli, A., Schmidkunz, M., Wang, J., & Thierstein, A. (2020). Regional Urbanisation through Accessibility?—The “Zweite Stammstrecke” Express Rail Project in Munich. *Urban Science*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.3390/urbansci4010002>

Wicki, M., Hauller, S., Bernauer, T., & Kaufmann, D. (2024). Beyond a transport node? What residents want from transforming railway stations. *European Planning Studies*, 32(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/09654313.2023.2236145>

Zondag, B., & Pieters, M. (2005). Influence of Accessibility on Residential Location Choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1902(1), 63–70. <https://doi.org/10.1177/0361198105190200108>

Impressum

Diese Publikation ist Teil des Forschungsprojektes MCube: Innovative Bewertungsverfahren für nachhaltige Verkehrsinvestitionen (BeneVit).

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen: 03ZU1105JA.



Herausgegeben von:

Jonas Horlemann
Technische Universität München
School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung

Mathias Heidinger
Technische Universität München
School of Engineering and Design
Lehrstuhl für Raumentwicklung

Autoren:

Dr. Martin Arnold, Mathias Heidinger*, Jonas Horlemann*
(* Lead)

Zitiervorschlag:

Horlemann, J. und Heidinger, M. (Hrsg.). (2024). Raumplanerische Potentiale von ÖPNV-Infrastrukturprojekten: Ansätze für deren Ermittlung und Anwendungsempfehlungen. MCube / Technische Universität München. <https://doi.org/10.14459/2024md1755571>.

Besonderer Dank an:

Prof. Dr.-Ing. Gebhard Wulfhorst (TUM), Prof. Dr. Alain Thierstein (TUM), Dr.-Ing. Fabian Wenner (TUM), Rita Tinajera (Intraplan Consult GmbH), Bernhard Fink (Münchner Verkehrs- und Tarifverbund), Dominik Fritz (Stadtwerke München – Münchner Verkehrsgesellschaft), Frank Rüdebusch (Landeshauptstadt München), Michael Maier (Landkreis München)

veröffentlicht im Oktober 2024

verfügbar unter DOI: [10.14459/2024md1755571](https://doi.org/10.14459/2024md1755571)

MCube BeneVit – Methodenpapier

© 2024 Technische Universität München