

Veröffentlichung / Publication

Algorithmus für die automatisierte Übertragung von Fahrzeitinformationen zwischen Verkehrsnetzen

Veröffentlicht in / Published in:

J. Schönberger, S. Nerlich (2018): 26. Verkehrswissenschaftliche Tage an der Technischen Universität Dresden, Tagungsband, S. 333–346.



Universität Stuttgart
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik
www.uni-stuttgart.de/isv/vuv/

26. Verkehrswissenschaftliche Tage 2018

- Algorithmus für die automatisierte Übertragung von Fahrzeitinformationen zwischen Verkehrsnetzen -

Maximilian Hartl¹ M.Sc., Alexander Migl² B.Sc.

Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart

1 Problemstellung

Die Daten zum Aufbau von Verkehrsnachfragemodellen stammen aus unterschiedlichen Datenquellen. Einige davon sind die Strukturgrößen, die Verhaltensparameter der einzelnen Personengruppen und die Kenngrößen der Angebotsqualität sowie das Streckennetz und das ÖV-Angebot. Die unterschiedlichen Datenquellen sind in der Regel nicht im gleichen Format verfügbar und müssen für die Nutzung aufbereitet werden.

In der Verkehrsplanung werden Verkehrsnachfragemodelle zur Qualitätsverbesserung und zur verbesserten Abbildung der Wirklichkeit häufig um zusätzliche Informationen ergänzt. Beispielsweise können die Modelle um gemessene Verkehrsstärken oder Fahrzeitinformationen ergänzt werden. Je nach Anforderung werden die Daten einmalig zugespielt oder bei Bedarf in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Da diese Informationen selten aus derselben Datenquelle stammen, stellt die direkte Übertragung der Informationen in das Verkehrsnachfragemodell häufig ein Problem dar.

Während die Daten zur Siedlungsstruktur lange aktuell bleiben, ändern sich die Fahrzeiten auf einzelnen Strecken schnell. Gründe hierfür können Baustellen, eine geänderte Streckenführung oder das Verkehrsaufkommen sein. Die Aktualität sollte in Verkehrsnachfragemodellen trotzdem gegeben sein.

Die Übertragbarkeit von Streckeninformationen ist dahingehend eine Herausforderung, da viele Datenanbieter wie TomTom [15], Google [7], Uber [16], INRIX [9] oder here [8] zwar dasselbe Straßennetz repräsentieren, sich aber die Knoten und Strecken zum eigenen Verkehrsnachfragemodell unterscheiden. Der Graph in dem die Daten der Anbieter das Streckennetz darstellen, unterscheidet sich in seiner Anzahl an Knoten, Kanten und der Verortung. Eine eindeutige Zuordnung über eine ID ist in der Regel nicht möglich, obwohl beide Verkehrsmodelle denselben räumlichen Verlauf einer Strecke darstellen.

Eine manuelle Datenübertragung ist zwar denkbar, mit der Größe des Verkehrsmodells steigt der zu tätige Aufwand jedoch an und wird unverhältnismäßig hoch. Daher ist es

¹ Korrespondierender Autor: maximilian.hartl@isv.uni-stuttgart.de

² alex.migl@web.de

sinnvoll, die Daten automatisiert zu übertragen. Dafür ist ein Algorithmus am Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart entstanden. Dieser Algorithmus gleicht die Streckeninformation aus zwei unterschiedlichen Verkehrsmodellen ab und überträgt automatisiert die Streckenattribute von einem Verkehrsmodell in ein anderes.

Der Algorithmus wurde für die Übertragung von gemessenen Reisezeiten in das Verkehrsnachfragemodell der Verband Region Stuttgart entwickelt. Dem Verkehrsnachfragemodell sind historisch gemessene Reisezeiten von einem Datenanbieter auf Streckenebene zugespielt worden. Verglichen wurde das Verfahren mit einer manuellen Datenübertragung.

2 Stand der Technik

MapMatching-Verfahren spielen seit der Etablierung der Satellitennavigation, insbesondere von GPS, seit rund 30 Jahren eine große Rolle. Die größte Schwierigkeit bei diesen Verfahren ist in der Regel die Zuordnung auf die richtige Strecke. Dennoch lässt sich inzwischen mittels MapMatching die genaue Position und die Anzahl einzelner Fahrstreifen entlang eines Streckenzuges bestimmen [14].

In ArcGIS [2] ist es beispielsweise möglich, mittels eines Matchingverfahrens Strecken mit getrennten Richtungsfahrbahnen als eine Strecke abzubilden. Dabei werden benachbarte Straßen gleicher Klassifizierung innerhalb eines bestimmten Umkreises einander zugeordnet. Zum Einsatz kommt diese Anwendung unter anderem bei der Veränderung des Maßstabes einer digitalen Karte [6].

Allgemein wird MapMatching in drei Varianten unterschieden – einer geometrischen, einer topologischen und einer fortgeschrittenen. Die Komplexität der einzelnen Algorithmen variiert dabei deutlich. Beim geometrischen Verfahren findet der Match beispielsweise lediglich auf die nächstgelegene Strecke statt, unabhängig davon, ob weitere Faktoren eine andere Strecke bevorzugen würden. In der topologischen Variante spielen die Knoten und Kanten auch eine Rolle bei der Zuordnung. Diese Faktoren werden bei fortgeschrittenen MapMatching-Verfahren noch um weitere Kriterien ergänzt [12].

In Navigationsgeräten müssen die über GPS ermittelten Punkte auf ein hinterlegtes Streckennetz übertragen werden. Die Hersteller verwenden dabei Algorithmen, die den aktuellen GPS-Standort mit der durch den Benutzer vorgegebenen Route abgleichen. Befindet sich dieser Standort in der Nähe [11] der hinterlegten Route, dann wird dieser in der Regel auf diese Route gematcht. Neben dem räumlichen Abgleich kann die Zuordnung zudem noch über die vom Navigationssystem ermittelte gefahrene Geschwindigkeit erfolgen. Fährt der Kraftfahrzeugführer beispielsweise deutlich schneller als es auf der vorgegebenen Route erlaubt ist, so kann es möglich sein, dass er auf einer parallel verlaufenden Straße mit einem höheren Tempolimit unterwegs ist. In diesem Fall ist es möglich, dass das Navigationssystem auf diese Strecke überspringt und die hinterlegte Route neu berechnet. Probleme treten häufig dann auf, wenn das Kartenmaterial im Navigationssystem nicht mehr aktuell ist [11]. Die erzielbare Genauigkeit von GPS beträgt heutzutage zwischen 5 und 20 Metern.

3 Matching Algorithmus

3.1 Systemanforderungen

Der entwickelte Algorithmus ähnelt dem von Navigationssystemen und überträgt Attribute aus einem Verkehrsmodell (B) in ein anderes Verkehrsmodell (A). Da die beiden abzugleichenden Verkehrsmodelle unterschiedlich detailliert sind, erfolgt der Abgleich über den räumlichen Verlauf der Geokoordinaten.

Der Algorithmus baut auf dem Modul „MapMatcher“ [13] in der Verkehrsplanungssoftware PTV VISUM [3] auf. Das integrierte Verfahren ordnet Koordinatenpaare einer genauen Position im Streckennetz zu (siehe Abbildung 1). Dabei ist immer der kürzeste Abstand zur nächstgelegenen Strecke maßgebend, soweit diese sich innerhalb eines vorgegebenen „Matchradius“ befindet. Die Größe dieses Radius kann vor der Zuordnung definiert werden. Ein zu hoher Matchradius bewirkt dabei, dass der Match auch auf eine Strecke fallen kann, die nicht die gewünschte Strecke, sondern eine Nebenstrecke beschreibt. Ein zu geringer Matchradius bewirkt hingegen, dass für ein Koordinatenpaar, das sich außerhalb davon befindet, kein Match erfolgen kann. Nach der Zuordnung erstellt der MapMatcher einen Weg auf der Basis des Streckennetzes. Dieser wird durch die Folge von den zugeordneten Koordinatenpaaren und dem Parameter „Standardabweichung“ bestimmt. Letzterer ist für die genaue Definition des Weges bei mehreren Zuordnungsmöglichkeiten verantwortlich. Je kleiner der Wert dabei ist, desto genauer orientiert sich der gefundene Weg an den Koordinatenpaaren.

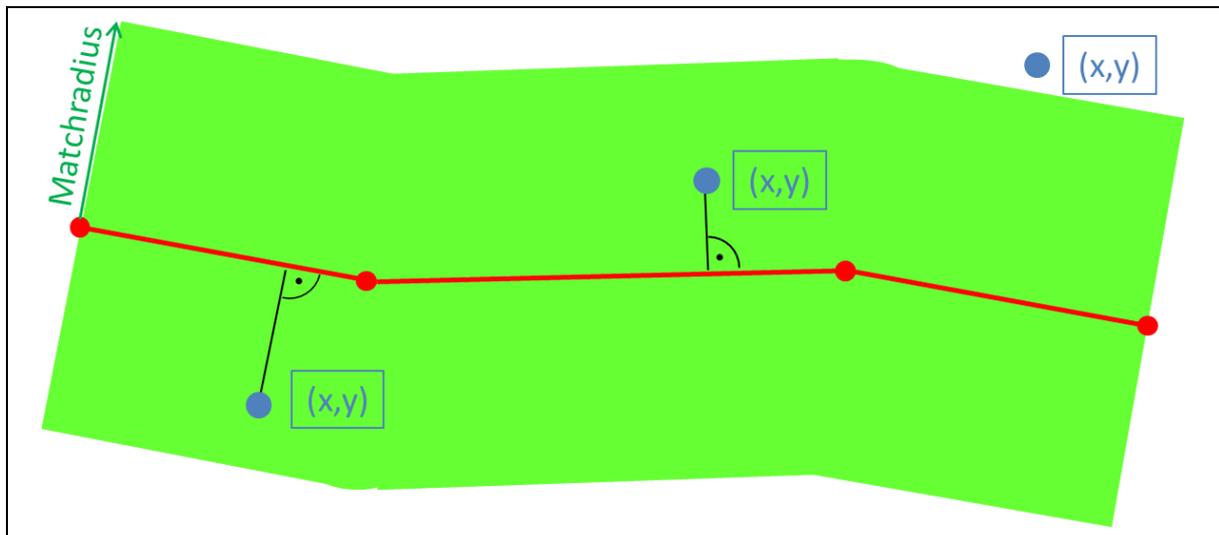


Abbildung 1: Abgleich der Geokoordinaten durch den MapMatcher.

Um die Datenübertragung realisieren zu können, müssen im Algorithmus daher die Knoten und weitere Stützpunkte von Strecken aus dem Verkehrsmodell (A) als Koordinatenpaarfolge auf das Verkehrsmodell (B) gematcht werden (siehe Abbildung 2).

Für die Bestimmung des nächsten Koordinatenpaares wird daher mit Hilfe der an die Knoten anschließenden Strecken immer der nächste Knoten ermittelt, bis keine nachfolgende Strecke mehr gefunden wird. In Abbildung 2 ist die Koordinatenpaarfolge (a-b-c-d) dargestellt. Es lässt sich dann ein Weg im Verkehrsmodell (B), bestehend aus der Aneinanderreihung der zugeordneten Strecken (20-21-22-23), bilden. Anschließend werden durch die orthogonale

Zuordnung der Koordinatenpaare aus Verkehrsmodell (A) die Anteile an den jeweils dem Verkehrsmodell (B) zugeordneten Strecken bestimmt.

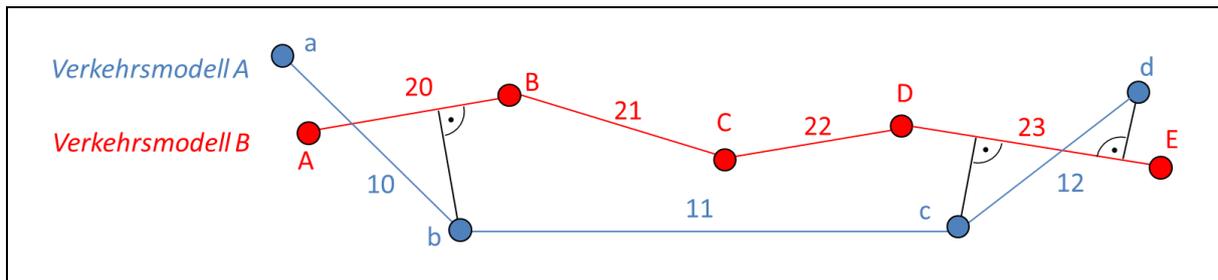


Abbildung 2: Abgleich der Geokoordinaten anhand eines Beispiels.

Um in Abbildung 2 die zugehörigen Strecken aus Verkehrsmodell (B) für die zu Verkehrsmodell (A) gehörende Strecke 11 zu bestimmen, wird festgestellt, dass zum Knoten b die Strecke 20 passt. Zum ebenfalls zu Strecke 11 gehörenden Knoten c passt Strecke 23. Damit werden der Strecke aus Verkehrsmodell (A) die Strecken 20 und 23 mit ihrem Anteil (der rechtwinklig zu den jeweiligen Knoten definiert wird) und die dazwischenliegenden Strecken 21 und 22 komplett zugewiesen. Je nach Art des zu übertragenden Attributs muss jetzt noch der Mittelwert oder die Summe der zugehörigen Strecken berechnet werden, ehe dieser Wert in das Verkehrsmodell (A) übertragen werden kann. Die Art der Mittelung richtet sich nach dem Inhalt des Attributs. Zum Beispiel ist es sinnvoll, Geschwindigkeiten längenanteilig zu gewichten, während Fahrzeiten aufaddiert werden sollten.

3.2 Richtiges Zuordnen

In dicht bebauten Gebieten können oft mehrere Strecken für eine Übereinstimmung beim MapMatching in Frage kommen. Daher müssen im Voraus Kriterien definiert werden, um die Zuordnung auf die richtige Strecke zu ermöglichen. Hierfür verwendet der Algorithmus die Kenntnis über den Straßentyp jeder einzelnen Strecke und verbietet unrealistische Zuordnungen. Demnach können Attribute einer Anliegerstraße zum Beispiel nicht auf eine Bundesstraße übertragen werden. Das Kriterium der Straßentypen hat sich in der Anwendung als praktikabel herausgestellt. Andere Kriterien, wie die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf dem betrachteten Streckenabschnitt, sind ebenfalls möglich. Da die Straßentypen in den verschiedenen Verkehrsmodellen jedoch nicht immer in sich konsistent sind, können Abweichungen auftreten. So kann es beispielsweise vorkommen, dass in Verkehrsmodell (A) eine Strecke dem Typ Bundesstraße zugeordnet wird, in Verkehrsmodell (B) jedoch der gleiche Typ für eine Außerortsstraße steht. Daher gestaltet sich der Übergang zwischen diesen Straßenkategorien eher fließend, weshalb dieses Kriterium nur die extremen Abweichungen ausgrenzt. Eine Aufbereitung der Verkehrsmodelle ist meist erforderlich.

Eine weitere Schwierigkeit tritt an Einmündungen und Kreuzungen auf. Bei der Bestimmung der Koordinatenpaarfolge in Verkehrsmodell (A) muss eindeutig definiert sein, in welche Richtung der Algorithmus den Weg fortführt. Auch hier verwendet der Algorithmus wieder die Kenntnis über den Straßentyp der jeweiligen Strecke. So soll die nachfolgende Strecke nach Möglichkeit vom gleichen Typ sein wie die vorherige. Gibt es mehrere Straßen gleichen Typs, wählt der Algorithmus zufällig eine der möglichen Strecken und versucht auf dieser den Weg fortzusetzen. Ist dies nicht möglich, da sich der nachfolgende Knoten in Verkehrsmodell (A) nicht mehr im Matchradius einer Strecke in Verkehrsmodell (B) befindet, dann

wählt der Algorithmus eine andere der möglichen Strecken. Befindet sich der nächste Knoten auch noch innerhalb des Matchradius, der übernächste jedoch nicht mehr (siehe Abbildung 3, Weg nach Nord-Osten), so ist es in der Regel nicht sinnvoll diesen Weg fortzuführen und stattdessen die Koordinatenfolge am Knotenpunkt in eine andere Richtung weiter zu bestimmen (Weg Richtung Süd-Osten). Um wie viele Knotenpunkte zurückgegangen werden soll, falls ein nachfolgender Knotenpunkt außerhalb des Matchradius liegt, kann in den Einstellungen des Algorithmus definiert werden. Ist keine nachfolgende Strecke vom gleichen Typ der vorherigen vorhanden, wählt der Algorithmus zufällig eine der anschließenden Strecken.

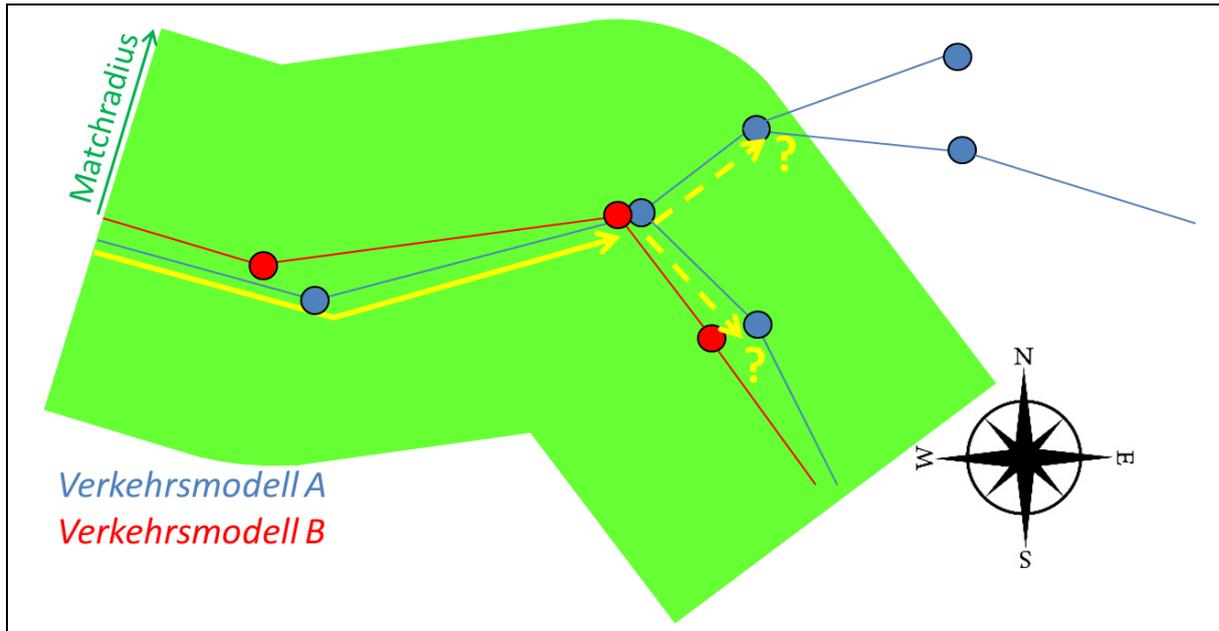


Abbildung 3: Veranschaulichung der Fortführung eines Weges zur Ermittlung der Koordinatenpaarfolge.

Die definierten Kriterien, die einen richtigen Match sicherstellen sollen, reichen in komplexen Verkehrsmodellen nicht immer aus. Daher können einzelne Strecken oder ganze Streckentypen für das Matching virtuell gesperrt werden.

3.3 Matchingprozess

Um eine Koordinatenpaarfolge zu bestimmen, muss dem Algorithmus ein sogenannter „Startknoten“ vorgegeben werden, an dem der Matchingprozess beginnen soll. Es gibt zwei Möglichkeiten einen „Startknoten“, der das erste Koordinatenpaar darstellt, zu definieren. Zum einen ist die manuelle Angabe von beliebig vielen Knoten möglich, an denen die Suche nach einem Weg beginnen soll. Zum anderen gibt es die Möglichkeit die „Startknoten“ automatisiert bestimmen zu lassen. Ein Knoten ist ein „Startknoten“, wenn

- er über mehr ausgehende als eingehende Strecken verfügt oder
- er über nur eine ein- und eine ausgehende Strecke verfügt, die die gleiche Straße darstellt und
- eine Strecke aus Verkehrsmodell B innerhalb des Matchradius liegt, die einen ähnlichen Streckentyp hat wie eine aus diesem Knoten ausgehende Strecke in Verkehrsmodell (A).

4 Anwendungsfall

Erfolgreich wurde der Algorithmus am Verkehrsnachfragemodell der Verband Region Stuttgart getestet. Dieses umfasst die Stadt Stuttgart sowie die fünf Landkreise Böblingen, Esslingen, Göppingen, Ludwigsburg und Rems-Murr. Insgesamt hat das Verkehrsnachfragemodell 1.100 Verkehrszellen. Es stellt rund 8 Mio. werktägliche Wege von rund 2,7 Mio. Einwohnern dar. Die Aufgabe bestand darin, gemessene Fahrzeitinformationen des Navigationsystemherstellers TomTom aus dem Jahr 2014 in das VRS Verkehrsnachfragemodell zu übertragen (siehe Abbildung 4). Die übertragenen Reisezeiten wurden u. a. für eine Engpassanalyse [10] im Großraum Stuttgart und für eine Erreichbarkeitsstudie [5] der IHK genutzt.

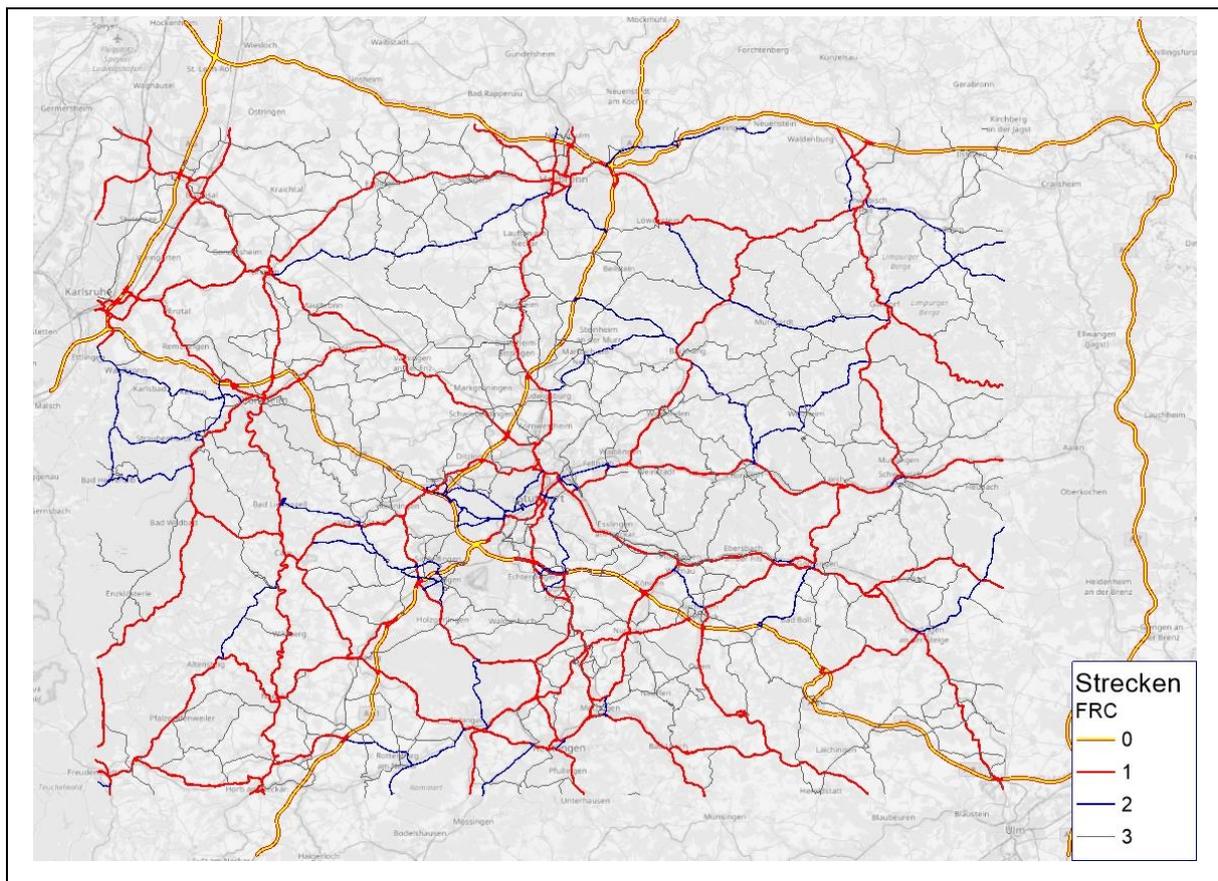


Abbildung 4: Verfügbare Fahrzeitinformationen von TomTom.

Neben dem unterschiedlichen Datenformat, in dem unterschiedlich viele Strecken und Knoten denselben Straßenzug darstellen, unterscheiden sich die beiden Verkehrsmodelle auch in ihrem Detaillierungsgrad und ihrer Aktualität. So ist das Verkehrsmodell (TomTom) aus dem Jahr 2015, während das der Verband Region Stuttgart aus dem Erstellungsjahr 2009 stammt. Die Fahrzeitinformationen liegen für Strecken im übergeordneten Straßennetz vor. Das Verkehrsmodell (VRS) der Verband Region Stuttgart bildet nahezu alle vorhandenen Strecken ab. Unterschiede ergeben sich bei Straßenzügen mit getrennten Richtungsfahrsteifen. Im Verkehrsmodell (VRS) werden Richtungsfahrbahnen oft getrennt modelliert, während im Verkehrsmodell (TomTom) für diesen Fall nur eine Strecke im Gegenfahrbetrieb verwendet wird. Daraus ergeben sich Unterschiede, die durch den Matchradius beeinflusst werden.

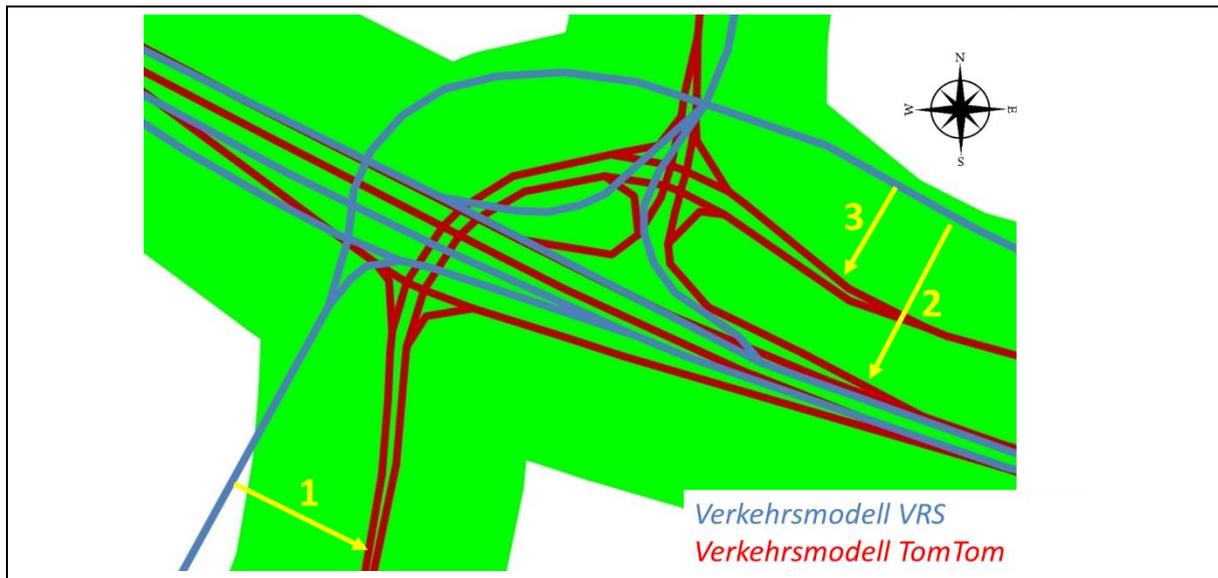


Abbildung 5: Veranschaulichung des Matchradius.

Der Einfluss des Matchradius wird in Abbildung 5 noch einmal detailliert veranschaulicht. Es ist dabei eine Autobahnanschlussstelle dargestellt, die erst 2008 fertiggestellt wurde. Im Verkehrsmodell (VRS) ist diese in einem Planzustand dargestellt, den tatsächlich gebauten Verlauf stellt nur das Verkehrsmodell (TomTom) dar. Welche Teile des Straßennetzes nun gematcht werden können, hängt von der Größe des Matchradius ab. Bei einem Matchradius von 80 Metern ist zu erkennen, dass ein Großteil der Strecken von Verkehrsmodell (VRS) auf Verkehrsmodell (TomTom) gematcht werden können. Südwestlich der Anschlussstelle gibt es jedoch einen Abschnitt, an dem der Planzustand deutlich vom Ist-Zustand abweicht (Pfeil 1). Hier ist eine Übertragung der Attribute von Verkehrsmodell (TomTom) auf Verkehrsmodell (VRS) nicht mehr möglich. Eine Erhöhung des Matchradius hätte an dieser Anschlussstelle zur Folge, dass die richtige Zuordnung nordöstlich der Anschlussstelle nicht mehr gewährleistet ist, da die untergeordnete Strecke dann auch auf die Autobahn gematcht werden könnte (Pfeil 2) und nicht mehr nur auf den Autobahnzubringer (Pfeil 3). Beim Übertragen der Werte entstehen immer Abweichungen. In Studien erwies sich ein Matchradius von ca. 80 Metern als praktikabel. Damit werden die meisten Fälle richtig erkannt. Gleichzeitig gibt es dem Verfahren genügend Puffer bei der Zuordnung.

5 Übertragungsqualität

Eine Übertragbarkeit der Attribute ist nicht ohne Qualitätsverluste möglich. Die Attribute können zwar zwischen den Verkehrsmodellen verglichen werden, jedoch kann eine Abweichung bereits auf die Modellstruktur (z. B. Aktualität) zurückgeführt werden. Eine 100% richtige Übertragung der Attribute gibt es damit nicht. Deswegen wird im Folgenden zwischen zwei Arten der Vergleichbarkeit unterschieden:

- Vergleich der Attribute zwischen Verkehrsmodell (A) und (B).
- Vergleich der Übertragungsmethode (manuell, automatisiert) in Verkehrsmodell (A)

Beim manuellen Verfahren werden in beiden Verkehrsmodellen möglichst lange Folgen von Strecken gebildet und als Wege dargestellt. Die Wege werden auf die gleiche Länge des Verkehrsmodells (A) skaliert und in kleine Abschnitte (< 10 m) unterteilt. Anschließend kön-

nen die Werte aus dem Verkehrsmodell (B) in das Verkehrsmodell (A) übertragen werden. Durch die Abschnittsbildung spielt die Genauigkeit der einzelnen Strecken eine untergeordnete Rolle. Das ganze wiederholt sich, bis alle Strecken(-folgen) im Verkehrsmodell übertragen wurden.

Im Vergleich zum Verkehrsmodell (TomTom) weisen bei der automatisierten Datenübertragung prozentual gesehen mehr Streckenkilometer höhere Durchschnittsgeschwindigkeiten auf (siehe Abbildung 6). Das manuelle Verfahren verhält sich gegenteilig, hier überwiegt prozentual gesehen der mittlere Geschwindigkeitsbereich. Die gewichtete Durchschnittsgeschwindigkeit bestätigt diesen Eindruck. Sie liegt im Verkehrsmodell (TomTom) bei 69,2 km/h, während sie mit der automatisierten Übertragung auf 70,6 km/h ansteigt. Im Gegensatz dazu sinkt die Geschwindigkeit mit der manuellen Übertragung auf 68,4 km/h. Die Abweichungen liegen damit bei $\pm 1,4$ km/h. Unter Berücksichtigung der zu matchenden Strecken von 4.610 km (1.011 km BAB, 1.420 km Bundesstraße, 118 km Anschlussstellen und 2.061 km weitere Straßen) liefern beide Verfahren belastbare Ergebnisse.

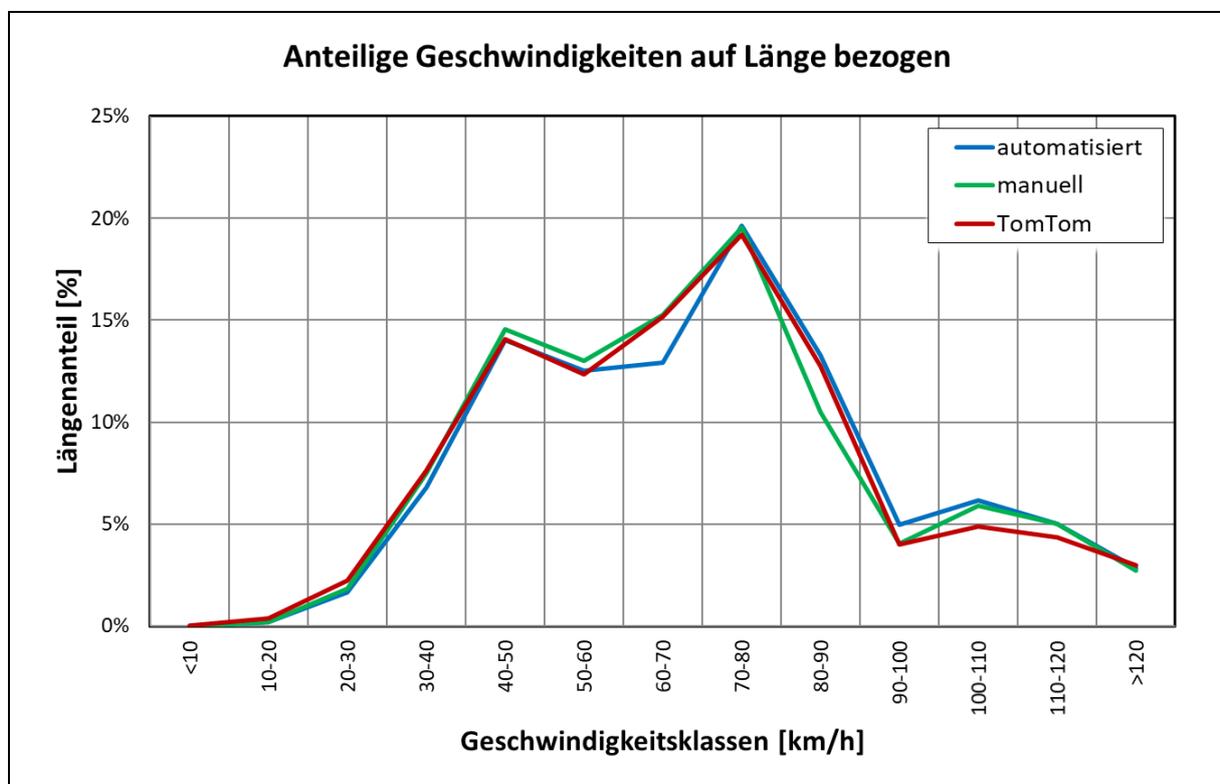


Abbildung 6: Längenbezogene Geschwindigkeitsanteile zwischen Quellverkehrsmodell (A) und Zielverkehrsmodell (B) mit automatisierter und manueller Übertragungsmethode.

An Verzweigungen, an denen der Straßenverlauf von einer auf mehrere Fahrbahnen übergeht, hat die Datenübertragung im automatisierten Verfahren ihre Schwierigkeiten die passenden Geschwindigkeiten zu berechnen. Die räumliche Diversität der Verzweigungsstellen führt zu einer längeren gefundenen Weglänge, wodurch die Geschwindigkeit sinkt. Diese Verzweigungsstellen befinden sich häufig im Geschwindigkeitsbereich zwischen 60 und 70 km/h. Daher steigt die gewichtete Durchschnittsgeschwindigkeit beim automatisierten Verfahren an. Das manuelle Verfahren stößt hingegen im Bereich von Autobahnanschlussstellen an seine Grenzen. Hier wird oft eine zur durchgehenden Autobahn parallel verlaufende

Fahrbahn für die Datenübertragung gewählt, wodurch die durchschnittliche Geschwindigkeit sinkt.

In Abbildung 7 wird das automatisierte Verfahren mit dem manuellen Verfahren verglichen. Dabei wurden alle Strecken des Verkehrsmodells, auf die Daten in beiden Verfahren übertragen wurden, herausgefiltert und nach ihren Straßentypen klassifiziert. Es ist zu erkennen, dass auf Strecken mit hohen ermittelten Geschwindigkeiten die Abweichungen zwischen den beiden Verfahren geringer sind, als auf Strecken im nachgeordneten Straßennetz. Die Ursachen für die Abweichungen im niedrigeren Geschwindigkeitsbereich können an beiden Verfahren liegen.

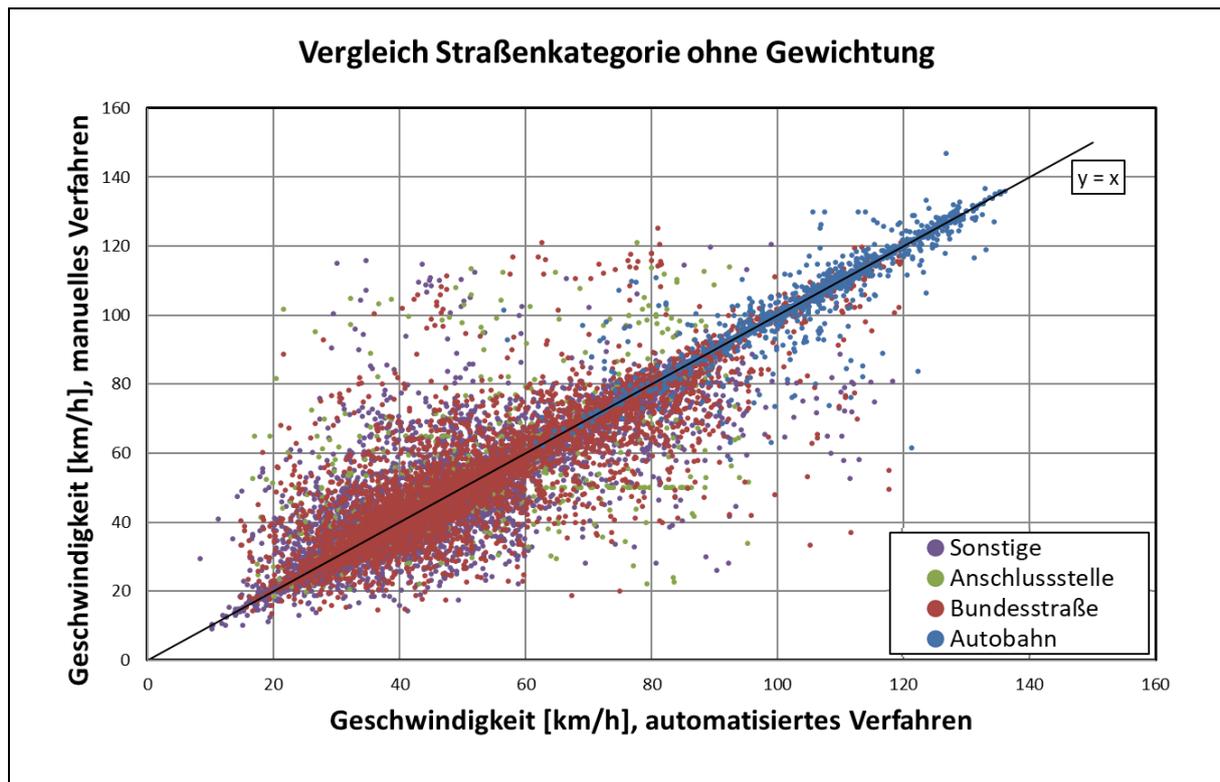


Abbildung 7: Vergleich der ermittelten Geschwindigkeiten anhand verschiedener Straßenkategorien.

Da die Werte für die durchschnittliche Geschwindigkeit insbesondere im hohen Geschwindigkeitsbereich nahezu immer korrekt und vollständig sind, ist der Algorithmus auf Grund der wenigen Knotenpunkte insbesondere für Schnellstraßen geeignet.

6 Fazit

Gegenüber einer manuellen Datenübertragung ermöglicht der entwickelte Algorithmus durch die Automatisierung eine große Zeiteinsparung. Die Zeitersparnis kommt insbesondere bei großen Verkehrsmodellen zum Tragen. Die Übertragung kann für beliebige Anwendungen durchgeführt werden. Sie kann parallelisiert auf verschiedenen Rechner laufen und ist nicht von der Arbeitskraft abhängig. Der Algorithmus eignet sich, wenn gemessene Echtzeitinformationen wiederholt dem Verkehrsmodell zugespielt werden sollen. Zwar steigt die Rechenzeit mit der Größe des Verkehrsnetzes überproportional an, doch dieses Problem könnte sich durch den Einsatz von Suchmaschinen wie Solr [1] oder Elasticsearch [4] lösen lassen.

Diese indizieren große Datenmengen und ermöglichen dadurch eine schnellere Suche. Eine weitere Reduzierung der Rechenzeit ist durch die Einschränkung der zu übertragenden Abschnitte (z. B. nur Autobahnabschnitte) realisierbar.

Die Datenübertragbarkeit zwischen Verkehrsmodellen mit unterschiedlichen Darstellungen des gleichen räumlichen Verlaufs eines Graphen ist mit Fehlern verbunden. Ein Qualitätsverlust wird immer auftreten. Der Vergleich der manuellen gegenüber der algorithmischen Lösung zeigt, dass Abweichungen bei beiden Verfahren gleichermaßen auftreten. In beiden Richtungen werden die Werte über- bzw. unterschätzt. Je länger der zu übertragende Weg ist, desto geringer ist die Abweichung. Besonders eignet sich das Verfahren für die Übertragung von Streckenattributen von Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen. Im untergeordneten Straßennetz ist eine Zuordnung vermehrt mit Abweichungen behaftet. Die automatisierte Übertragung steht der manuellen in nichts nach und überträgt die Streckenattribute in ausreichender Qualität. Der Algorithmus ist so implementiert, dass er sich auf andere Attribute oder Modelle anwenden lässt.

7 Literatur

- [1] Apache Solr. Hrsg.: Apache Software Foundation. <http://lucene.apache.org/solr/>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [2] ArcGIS. Hrsg.: esri. <https://www.arcgis.com/features/index.html>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [3] Benutzerhandbuch VISUM17. Hrsg.: PTV AG, Karlsruhe, abgerufen am 30. Januar 2018
- [4] elasticsearch. Hrsg.: elastic. <https://www.elastic.co/de/>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [5] *Friedrich, M.; Hartl, M.*: IHK - Erreichbarkeitsanalyse. Expedition oder Kurztrip - Verkehrliche Erreichbarkeiten ausgewählter Standorte, Methodenbericht und Bewertung. Hrsg.: Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart. https://www.stuttgart.ihk24.de/Branchen/Verkehrswirtschaft/projekte_verkehrspolitik/Studien_und_Analysen_zur_Verkehrsinfrastruktur/Erreichbarkeitsanalyse2/3137046
- [6] Getrennte Fahrbahnen zusammenführen. Hrsg.: esri. <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/merge-divided-roads.htm>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [7] GoogleMaps. Hrsg.: Alphabet Inc., abgerufen am 30. Januar 2018
- [8] here Traffic. Hrsg.: here. <https://www.here.com/>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [9] INRIX Roadway Analytics. Hrsg.: Inrix, abgerufen am 30. Januar 2018
- [10] *Markus Friedrich*: Mobilitätsdaten - Wohin? Zu welchem Zweck? Mit welchem Verkehrsmittel? Engpassanalyse für den Straßenverkehr in der Region Stuttgart. Hrsg.: Verand Region Stuttgart. <https://www.region-stuttgart.org/aufgaben-und-projekte/verkehrsplanung/regionalverkehrsplan/untersuchungen/>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [11] *Martin Nathansen*: GPS-Genauigkeit & Einschränkungen. Hrsg.: Ingenieurbüro Martin Nathansen, abgerufen am 30. Januar 2018
- [12] *Mohammed A. Quddus*: High Integrity Map Matching Algorithms for Advanced Transport Telematics Applications. Hrsg.: Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, United Kingdom, London 2006

- [13] Performing MapMatching through COM. Hrsg.: PTV AG, Karlsruhe 2018, abgerufen am 30. Januar 2018
- [14] *Pucher, G.; Neuhold, R.; Fellendorf, M.; Dolancic, M.; Krampe, S.*: Entwicklung und Bewertung eines fahstreifenfeinen Straßengraphen. *Straßenverkehrstechnik* (2017) Nr. 11
- [15] TrafficStats. Hrsg.: TomTom. <https://trafficstats.tomtom.com>, abgerufen am 30. Januar 2018
- [16] Uber Movements. Hrsg.: Uber. <https://movement.uber.com/>, abgerufen am 30. Januar 2018