

STUDIENARBEIT

Ganglinien des Fußverkehrs

Roßmerkel, Matthias

Geb. am 5.12.87 in München

Matrikel-Nr. 3924462

Studiengang: Verkehrsingenieurwesen

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Hantschel (TU Dresden); Dr.-Ing. Hagen Schüller (PTV)

Termin der Abgabe: Dresden, 7. Juni 2017

Bibliografischer Nachweis

Matthias Roßmerkel

Ganglinien des Fußverkehrs

Studienarbeit, 2017

75 Seiten – 5 Anhänge – 41 Abbildungen – 10 Tabellen

Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“,

Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr,

Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik

Autorenreferat

In dieser Arbeit werden zur Verbesserung der Datenlage über Charakteristika des Fußverkehrsaufkommens sowie als Ausgangspunkt für ein Verfahren zur Hochrechnung von Kurzzeitmessungen Ganglinien des Fußverkehrs extrahiert und diskutiert.

Als Grundlage dienen 31 Querschnittszählungen von 6 bis 19 Uhr aus deutschen Großstädten mit insgesamt knapp 100.000 gezählten Fußgängern. Aus diesen werden Ganglinien ermittelt. Die Auswertung berücksichtigt Merkmale der Zählquerschnitte, darunter u.a. die Kategorie der Straße nach den Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen, die Umfeldnutzung sowie die Lage innerhalb der Stadt. Zusätzlich werden bestimmte Einzelmerkmale wie z.B. der Einfluss von Schulen in der Umgebung der Zählstelle und die Auswirkungen der Ladenöffnungszeiten untersucht.

Die Ganglinien des Fußverkehrs unterliegen einer höheren Variabilität als diejenigen des KFZ-Verkehrs. Ein singuläres Merkmal, anhand dessen Straßenabschnitten spezifische Ganglinientypen zugeordnet werden können, existiert nicht. Vielmehr zeigt sich eine Überlagerung des Einflusses verschiedener, vor allem umfeldbezogener Merkmale. Den deutlichsten Einfluss hat das Vorhandensein einer größeren Anzahl an Einzelhandelseinrichtungen.

Abschließend werden in einem Kapitel für verschiedene Arten von Kurzzeitmessungen (1-, 2- und 3-Stunden-Intervalle sowie regelmäßige 15-Minuten-Zählungen) Hochrechnungsfaktoren sowie die zugehörigen relativen Fehler bestimmt.

Thesen

These 1: Die Tagesganglinien des Fußverkehrs unterscheiden sich nicht wesentlich von den Ganglinien anderer Verkehrsmodi.

These 2: Es existieren einzelne Merkmale, anhand derer Straßenräumen eine typische Ganglinie zugewiesen werden kann.

These 3: In der Bevölkerung übliche Elemente des Tagesablaufs haben messbaren Einfluss auf die Ganglinien des Fußverkehrs.

These 4: Durch gesellschaftlicher Veränderungen kam es in den letzten Jahrzehnten zu einer Veränderung der Lage der Spitzenstunde des Fußverkehrs sowie deren Anteil am gesamten Verkehr eines Tages.

These 5: Infolge der Liberalisierung der Ladenöffnungszeiten seit Beginn der 1990er Jahre kam es zu Veränderungen im zeitlichen Verlauf des Fußverkehrsaufkommens.

These 6: Die aus Querschnittszählungen ermittelten Ganglinien stimmen mit den aus Mobilitätserhebungen ableitbaren Ganglinien überein.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|------|
| Inhaltsverzeichnis..... | III |
| Abbildungsverzeichnis..... | V |
| Tabellenverzeichnis..... | VII |
| Abkürzungsverzeichnis..... | VIII |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Definitionen und Abgrenzungen..... | 3 |
| 2.1 Verkehr und Aufenthalt..... | 3 |
| 2.2 Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommen..... | 3 |
| 3 Derzeitiger Kenntnisstand..... | 5 |
| 3.1 Erhebungsmethoden..... | 5 |
| 3.2 Ganglinien und Hochrechnungsfaktoren..... | 6 |
| 3.2.1 Heidemann (1959 bis 1964)..... | 6 |
| 3.2.2 Bohle et al. 1995..... | 8 |
| 3.2.3 Schweiz 2005..... | 8 |
| 3.2.4 Weitere Hochrechnungsmethoden..... | 10 |
| 3.3 Beschreibung des Fußverkehrsaufkommens über Stellvertretergrößen..... | 11 |
| 3.3.1 Einzelhandelsanteil und Dichteziffer..... | 11 |
| 3.3.2 Umfeldfaktor..... | 12 |
| 3.3.3 Bestimmung von Fußverkehrsaufkommen durch Modelle..... | 12 |
| 3.3.4 Immobilienpreise..... | 14 |
| 3.4 Weitere Erhebungen..... | 14 |
| 3.5 Temporäre Einflussfaktoren..... | 17 |
| 3.5.1 Nachtstunden..... | 17 |
| 3.5.2 Wetter und Jahreszeit..... | 18 |
| 3.6 Fazit..... | 19 |
| 4 Methodik..... | 20 |
| 4.1 Betrachtete Zeiträume..... | 20 |
| 4.2 Betrachtete Merkmale..... | 21 |
| 4.3 Auswahl der Zählstellen..... | 22 |
| 4.4 Erfassung von Kindern und Senioren..... | 24 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.5 | Besonderheiten einzelner Zählstellen | 27 |
| 5 | Ergebnisse..... | 29 |
| 5.1 | Beschreibung der Stichprobe | 29 |
| 5.2 | Ganglinien nach EFA-Kategorien | 30 |
| 5.3 | Ganglinien nach Umfeldfaktor | 34 |
| 5.4 | Ganglinien nach Lage..... | 36 |
| 5.4.1 | Ganglinien nach Siedlungsstruktur | 36 |
| 5.4.2 | Ganglinien nach Entfernung zum Zentrum..... | 37 |
| 5.5 | Weitere Einflüsse | 40 |
| 5.5.1 | Kurzfristiger Einfluss von Niederschlag..... | 40 |
| 5.5.2 | Schulen | 42 |
| 5.5.3 | Mittagsspitze..... | 45 |
| 5.5.4 | Auswirkungen der Ladenöffnungszeiten | 46 |
| 5.6 | Ganglinien nach Städten..... | 48 |
| 5.7 | Lage der Spitzenstunde..... | 50 |
| 5.8 | Vergleich mit Ganglinien aus Mobilitätshebungen | 52 |
| 5.9 | Zusammenfassung..... | 58 |
| 6 | Hochrechnung | 61 |
| 6.1 | Hochrechnung auf der Basis einzelner Stunden..... | 63 |
| 6.2 | Hochrechnung auf der Basis von zwei-Stunden-Zählungen..... | 65 |
| 6.3 | Hochrechnung auf der Basis von 3-Stunden-Zählungen..... | 68 |
| 6.4 | Hochrechnung auf Basis regelmäßiger 15-Minuten-Zählungen..... | 68 |
| 6.5 | Ermittlung von Ganglinien durch Kurzzeitzählungen | 70 |
| 6.6 | Aufkommen in der Spitzenstunde..... | 72 |
| 6.7 | Fazit..... | 73 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 76 |
| 8 | Anhang..... | 80 |
| 8.1 | Anhang 1: Zählstellen..... | 80 |
| 8.2 | Anhang 2: Weitere Abbildungen | 82 |
| 8.3 | Anhang 3: Weitere Abbildungen und Kennwerte der Hochrechnungen..... | 88 |
| 8.4 | Anhang 4: Empfehlungen zur Durchführung der Hochrechnung..... | 90 |
| 8.5 | Anhang 5: Zählzeiten | 92 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1 Anteil der Stunden am Fußverkehr zwischen 7 und 19 Uhr (Schweiz 2005).... | 9 |
| Abbildung 2 Tagesganglinien auf Brücken in Luzern..... | 15 |
| Abbildung 3 Ganglinien der Zählstelle Koppstraße in Wien, 2005..... | 16 |
| Abbildung 4 Anteil gezählter Senioren je Zählstelle..... | 25 |
| Abbildung 5 Anteil gezählter Kinder je Zählstelle..... | 26 |
| Abbildung 6 Fußgänger pro 15-Minuten-Intervall an der Zählstelle A10..... | 27 |
| Abbildung 7 Einfluss der Zählstelle D9 | 28 |
| Abbildung 8 Summenlinie der Fußverkehrsaufkommen an den Zählstellen | 29 |
| Abbildung 9 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 3..... | 30 |
| Abbildung 10 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 5 | 31 |
| Abbildung 11 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 7 | 32 |
| Abbildung 12 Ganglinien nach EFA-Kategorie..... | 33 |
| Abbildung 13 Ganglinien nach Umfeldfaktor, relativ..... | 35 |
| Abbildung 14 Entfernungen der Zählstellen zum Zentrum nach Siedlungsstruktur | 36 |
| Abbildung 15 Ganglinien nach Siedlungsstruktur..... | 37 |
| Abbildung 16 Entfernungen der Zählstellen zum Zentrum | 38 |
| Abbildung 17 Ganglinien nach Entfernung zum Zentrum in km | 38 |
| Abbildung 18 Kurzfristiger Einfluss von Niederschlag auf das Fußverkehrsaufkommen..... | 41 |
| Abbildung 19 Ganglinien an Schulstandorten (Auswahl)..... | 44 |
| Abbildung 20 Ganglinien an Querschnitten mit ausgeprägter Mittagsspitze | 46 |
| Abbildung 21 Ganglinien nach Häufigkeit von Einzelhandelseinrichtungen, relativ | 47 |
| Abbildung 22 Ganglinien nach Stadt, relativ | 49 |
| Abbildung 23 Lage der Spitzenstunden an den Zählstellen..... | 51 |
| Abbildung 24 Tagesganglinie des Verkehrsaufkommens aus SrV 2013, differenziert nach Hauptverkehrsmittel | 54 |
| Abbildung 25 Ganglinien der Verkehrsleistung des Fußverkehrs | 56 |
| Abbildung 26 Gemittelte Ganglinien über alle Zählstellen | 60 |
| Abbildung 27 Anteil der Stunden am Tagesverkehr..... | 63 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 28 Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit Hochrechnungsfaktoren aus der Schweiz..... | 65 |
| Abbildung 29 Anteil der 2-Stunden-Intervalle am Tagesverkehr..... | 66 |
| Abbildung 30 Genauigkeit der Ermittlung von Ganglinien aus Kurzzeitzählungen..... | 71 |
| Abbildung 31 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 4..... | 82 |
| Abbildung 32 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 6..... | 82 |
| Abbildung 33 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 9..... | 83 |
| Abbildung 34 Gemitteltes Aufkommen nach EFA-Kategorie..... | 83 |
| Abbildung 35 Weitere Ganglinien an Schulstandorten..... | 84 |
| Abbildung 36 Ganglinien nach Umfeldfaktor, absolut..... | 85 |
| Abbildung 37 Ganglinien nach Entfernung zum Zentrum, relativ..... | 85 |
| Abbildung 38 Ganglinien nach Häufigkeit von Einzelhandelseinrichtungen, absolut..... | 86 |
| Abbildung 39 Ganglinien nach Stadt, absolut..... | 86 |
| Abbildung 40 Gemittelte Ganglinien über alle Zählstellen..... | 87 |
| Abbildung 41 Anteil der 3-Stunden-Intervalle am Tagesverkehr..... | 88 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 Monatsfaktoren nach Bohle 1995 | 8 |
| Tabelle 2 Hochrechnung auf der Basis von Einzelstunden | 64 |
| Tabelle 3 Hochrechnung auf der Basis von 2-Stunden-Zählungen | 66 |
| Tabelle 4 Hochrechnung auf der Basis von 3-Stunden-Zählungen | 68 |
| Tabelle 5 Hochrechnung auf den Tagesverkehr auf der Basis regelmäßiger 15-Minuten-Zählungen | 69 |
| Tabelle 6 Faktoren zur überschlägigen Ermittlung des Aufkommens in der (gleitenden) Spitzenstunde auf der Basis von Einzelstunden | 72 |
| Tabelle 7 Zusammenfassung der Kennwerte der Hochrechnungen | 73 |
| Tabelle 8 Hochrechnung auf der Basis zusammengesetzter 2-Stunden-Intervalle | 88 |
| Tabelle 9 Faktoren zur überschlägigen Ermittlung des Aufkommens in der (gleitenden) Spitzenstunde aus 2-Stunden-Zählungen | 89 |
| Tabelle 10 Faktoren zur überschlägigen Ermittlung des Aufkommens in der (gleitenden) Spitzenstunde aus 3-Stunden-Zählungen | 89 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|-----------|---|
| EFA | Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen |
| EHE | Einzelhandelseinrichtungen |
| EVE | Empfehlungen für Verkehrserhebungen |
| Fg | Fußgänger |
| GIS | Geoinformationssystem |
| h | Stunde |
| HBS | Handbuch zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen |
| HR | Hochrechnung |
| HVM | Hauptverkehrsmittel |
| KFZ | Kraftfahrzeug |
| km | Kilometer |
| MiD | Mobilität in Deutschland |
| MIV | Motorisierter Individualverkehr |
| Min | Minute |
| ÖV | Öffentlicher Verkehr |
| RASt | Richtlinie zur Anlage von Stadtstraßen |
| Std.-Abw. | Standardabweichung |
| SrV | System repräsentativer Verkehrserhebungen |
| UF | Umfeldfaktor |

1 EINLEITUNG

Bei Maßnahmen den Motorisierten Individualverkehr (MIV) wie auch für den öffentlichen Verkehr (ÖV) gehören Daten zum Verkehrsaufkommen zu den wesentlichen Grundlagen jeder Planung. Die Durchführung einer Planung für MIV oder ÖV ohne die Erfassung des Verkehrsaufkommens in der Bestandsanalyse gilt als unseriös und kommt in der Praxis kaum vor.

Dies gilt jedoch oftmals nicht beim Fußverkehr: Selbst bei umfangreichen und umstrittenen, die Belange von Fußgängern¹ direkt betreffenden Planungen ist die Erfassung und Darstellung des Fußverkehrsaufkommens die Ausnahme. Zwar werden Anlagen für Fußgänger häufig im Sinne einer Angebotsplanung konzipiert, oftmals hat aber das Fehlen von Daten vor allem bei hohem Aufkommen eine mangelnde Berücksichtigung der Belange der Fußgänger zur Folge.

Lange Zeit war es in Deutschland Stand der Technik, das KFZ-Aufkommen an einem Querschnitt durch Kurzzeitzählungen mit anschließender Hochrechnung zu ermitteln [HBS 2001, S. 2-8]². Voraussetzung hierfür sind jedoch Informationen zum zeitlichen Verlauf des Verkehrsaufkommens über den Tag, die für den Fußverkehr aufgrund fehlender systematischer Erhebungen sowie entsprechender Forschung nicht verfügbar sind. Demzufolge ist die Ermittlung des täglichen Aufkommens an Fußgängern – sofern sie denn durchgeführt wird – mit einer Erhebung über den gesamten Tag und damit mit einem hohen Aufwand verbunden.

Auch in der Verkehrssicherheitsforschung sind Kenntnisse zu Charakteristika des Fußverkehrsaufkommens unverzichtbar. Bspw. erfordert die Untersuchung der bei verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen beobachteten Änderungen der Unfallgefahr im Tagesverlauf Aussagen zu zeitlichen Schwankungen des Verkehrsaufkommens über den Tag. Nur beim Vergleich mit Tagesganglinien des Aufkommens lässt sich feststellen, ob eine hohe Unfallaufkommen zu einer bestimmten Tageszeit auf ein hohes Verkehrsaufkommen oder auf

¹ Zur Verbesserung des Leseflusses wird in dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet, dies schließt stets beide Geschlechter gleichermaßen mit ein.

² Zwar ist die Hochrechnung in der Neuauflage des HBS u.a. aufgrund der Genauigkeitsvorteile längerer Erhebungen nicht mehr enthalten, wird aber vereinzelt immer noch angewendet.

eine erhöhte spezifische Gefährdung zurückzuführen ist. Auch hierfür fehlt es in Deutschland an einer ausreichenden Datengrundlage für den Fußverkehr.

Insgesamt lässt sich ein Mangel sowohl an Erkenntnissen zum zeitlichen Verlauf von Fußverkehrsaufkommen, wie auch daraus folgend an mit geringem Aufwand verbundenen Möglichkeiten zur Bestimmung des Aufkommens durch Kurzzeitzählungen mit anschließender Hochrechnung konstatieren.

Diese Arbeit soll einen Beitrag zur Behebung der beschriebenen Probleme leisten. Hierzu erfolgt die Ermittlung, Darstellung und Analyse von Ganglinien des Fußverkehrs als Basis für Analysen in Planung und Forschung sowie als Grundlage für die Hochrechnung von Kurzzeitzählungen. Das Vorgehen ist dabei aufgrund der verfügbaren Datenmenge primär qualitativ angelegt.

Dafür wird nach notwendigen Definitionen der aktuelle Kenntnisstand dargestellt, wobei dabei aufgrund des Mangels an Publikationen zur Thematik der (Tages-)Ganglinien auch Literatur mit Bezug zu Hochrechnungsverfahren sowie umfangreicheren Erhebungen des Fußverkehrs mit berücksichtigt wird. Anschließend erfolgt auf Grundlage von in dieser Arbeit vervollständigten Daten eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) die Analyse der Charakteristika von Ganglinien des Fußverkehrs und den darauf wirkenden Einflussfaktoren. Ergänzt wird dies durch einen Vergleich der ermittelten Ganglinien mit aufbereiteten Ergebnissen der Mobilitätserhebung „SrV – Mobilität in Städten“.

Abschließend werden in einem eigenständigen Kapitel Hochrechnungsfaktoren für die Ermittlung des täglichen Fußverkehrsaufkommens auf Grundlage unterschiedlicher Erhebungszeiträume berechnet und diskutiert.

2 DEFINITIONEN UND ABGRENZUNGEN

2.1 Verkehr und Aufenthalt

Beim Fußverkehr sind mit dem „Aufenthalt“ sowie der „Fortbewegung“ zwei grundsätzliche Arten der Nutzung des öffentlichen Verkehrsraumes zu unterscheiden. Gemäß Bohle et al. bezeichnet Aufenthalt das „freiwillige Verweilen im Straßenraum [...] ohne durch äußere Randbedingungen erzwungen zu sein“, wozu bspw. Kinderspiel und Unterhaltungen, nicht aber das verkehrsbedingte Warten z.B. an Lichtsignalanlagen oder ÖV-Haltestellen gehört. Dem gegenüber steht die Fortbewegung als Passieren eines Straßenabschnitts ohne freiwilliges Verweilen. [Bohle 1995, S. 1]

Beide Nutzungsarten haben Schnittmengen, die Nutzung als Verkehrsraum beeinflusst die Nutzung zum Aufenthalt wesentlich. So wird bspw. eine Aufenthaltsnutzung in größerem Maße i.d.R. nur dort anzutreffen sein, wo auch ein erheblicher Längs- oder Querverkehr auftritt (z.B. in Geschäftsstraßen). Eine Aufenthaltsnutzung in geringem Maße kann dagegen auch ohne Längsverkehr auftreten, z.B. als Kinderspiel vor Wohngebäuden. Umgekehrt führt (auch umfangreicher) der Fortbewegung dienender Fußverkehr nicht immer zu einer verstärkten Aufenthaltsnutzung, sondern kann – bspw. im Umfeld von ÖV-Haltestellen – auch ausschließlich aus zielgerichteter Fortbewegung bestehen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich die Nutzungsart „Fortbewegung“ betrachtet, eine Befassung mit Ganglinien des Aufenthalts erfolgt nicht.

2.2 Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommen

Als zentrale Kennziffer von Mobilitätshebungen wird häufig der Modal Split des Verkehrsaufkommens oder der Verkehrsleistung angegeben [vgl. bspw. MiD 2008a, S. 5]. Dieser Wert bezieht sich i.d.R. nur auf das Hauptverkehrsmittel, ohne Berücksichtigung von Etappen des Weges, die mit anderen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden (z.B. Zu- und Abgang bei der Nutzung eines KFZ). Dabei hat (die insbesondere beim Fußverkehr bestehende Dunkelziffer vernachlässigt [vgl. Brög 1999, S. 22 ff]) jeder Weg, unabhängig von dessen Länge, die gleiche Wahrscheinlichkeit zur Aufnahme in die Stichprobe. Bei Querschnittszählungen steigt dagegen die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme in die Stichprobe mit der Länge des Weges an, da die Wahrscheinlichkeit, eine Zählstelle zu passieren steigt, je länger der Weg ist. Dementsprechend wird bei einer Querschnittszählung die Verkehrsleistung eines Verkehrsmittels unter Berücksichtigung aller Etappen eines Weges erhoben. Dafür ist eine Differenzierung nach Wegelängen bei Querschnittszählungen nicht möglich.

Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung stehen, verbunden über die Wegelänge, in einem engen Zusammenhang. Ihr Verhältnis kann sich jedoch regional, zeitlich und bzgl. soziodemographischer Merkmale unterscheiden.

3 DERZEITIGER KENNTNISSTAND

3.1 Erhebungsmethoden

Grundsätzlich lassen sich bei der Erhebung des Fußverkehrs Querschnittszählungen und Stromerhebungen unterscheiden [EVE 2012, S. 29]. Aufgrund der Zielstellung dieser Arbeit werden primär Querschnittszählungen verwendet, die gegebenenfalls durch aus Mobilitäts-erhebungen stammenden Daten zu Verkehrsströmen ergänzt werden.

Die für die Erfassung des Fußverkehrs geeigneten Erhebungsmethoden sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Eine ausführliche entsprechende Darstellung einschließlich umfangreicher Hinweise zu spezifischen Vor- und Nachteilen in Abhängigkeit der Zielstellung der Erhebung enthält bspw. [Zweibrücken 2005, S. 45 ff].

In Frage kommen speziell für Querschnittszählungen u.a.:

- Personal vor Ort mit Strichlisten oder Handzählgeräten
- Videobeobachtung mit anschließender manueller oder automatischer Auswertung
- Technische Geräte mit direkter Zählung vor Ort (z.B. Laser, Infrarot)

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten und vorgenommenen Querschnittszählungen beruhen auf Videoaufnahmen, die im Nachhinein manuell ausgezählt wurden (vgl. Kapitel 4).

Technische Geräte, die Fußgänger automatisch zählen, ermöglichen mit vertretbarem Personal- und Kostenaufwand langfristige, durchgehende Zählungen. Sie können allerdings keine über die bloße Zahl der passierenden Personen hinausgehenden Informationen (z.B. Alter, Geschlecht) liefern. Die bisher verfügbaren automatischen Zählmethoden sind derzeit noch unzuverlässig. Probleme bereiten vor allem die Erfassung mehrerer, parallel laufender Fußgänger sowie die Differenzierung nach Verkehrsmittel (vor allem Fußgänger vs. Radfahrer). So ermittelte die Stadt Zürich an 24 von ihr betriebenen, mit Infrarot arbeitenden Dauerzählstellen des Fußverkehrs Abweichungen von -83 % bis +26 % (<0: Übererfassung durch Zählgerät, >0: Untererfassung), bei 10 der 24 Zählstellen liegt die Abweichung unter 10 %, bei 6 Zählstellen über 20 % [Zürich 2016]. Aultman-Hall et al. ermittelten für den von ihnen eingesetzten Infrarotzähler eine Untererfassung von 5%, verweisen zugleich aber auf in der Literatur für das entsprechende Zählgerät genannte höhere Abweichungen von bis zu 19% [Aultman-Hall 2009, S. 6].

Miranda et al. untersuchten die Zuverlässigkeit der verschiedenen Zählmethoden – manuelle Zählung vor Ort sowie per Video und automatische Zählung mit einem passiven Infrarotsensor – durch die gleichzeitige Zählung derselben vier Querschnitte mit allen drei Methoden. Je nach Zählstandort lag die Untererfassung des Sensors zwischen 12,6 und über 40 %. Bemerkenswert sind auch die erheblichen Schwankungen in den Differenzen zwischen den erhobenen 15-Minuten-Intervallen, was (je nach Zweck der Erhebung und daraus folgender Anforderung an die Genauigkeit) die Möglichkeit zur Anwendung von durch Kurzeiterhebungen ermittelten Korrekturfaktoren in Frage stellt. Die Differenz zwischen manueller Zählung vor Ort und Videobeobachtung und anschließender manueller Videoauswertung war dagegen mit unter 1 % gering. [Miranda 2011, S. 34 ff]

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die im Rahmen dieser Arbeit verwendete Methodik der Zählung von Fußgängern per Videobeobachtung eine der genauesten derzeit zur Verfügung stehenden Varianten der Zählung darstellt. Dagegen sind Daten von automatischen Zählstellen – sofern verfügbar – nur unter besonderer Berücksichtigung der erheblichen Ungenauigkeit verwendbar.

3.2 Ganglinien und Hochrechnungsfaktoren

Eine systematische Typisierung von Ganglinien, wie sie für den KFZ-Verkehr wiederholt vorgenommen worden ist (vgl. z.B. [Schmidt 1996], [Pinkofsky 2006]), wurde für den Fußverkehr bisher nur von Heidemann in den 1960er Jahren durchgeführt (s.u.). Aufgrund des Mangels an Arbeiten, die sich mit der Charakterisierung von Ganglinien des Fußverkehrs beschäftigen sowie aufgrund der insgesamt schlechten Datenlage bzgl. systematischer Fußverkehrszählungen sind im Folgenden auch Arbeiten aufgeführt, die sich nur mit der systematischen großräumigeren Zählung von Fußgängern beschäftigen bzw. entsprechende Daten enthalten. Zugleich wird die verfügbare Literatur auch hinsichtlich des langfristigen Ziels der Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren für Zählungen in Deutschland ausgewertet.

3.2.1 Heidemann (1959 bis 1964)

Heidemann 1967 enthält durchgeführte Zählungen an 43 Stellen in 31 Städten zwischen 1959 und 1964, ergänzt durch externe Zählungen an 9 Stellen in 6 Städten, vereinzelt auch aus früheren Jahren. Gezählt wurde während der 12 Stunden zwischen 7 und 19 Uhr an jeweils einem Werktag (Montag bis Freitag). Die Erhebung berücksichtigte im Wesentlichen Haupteinkaufsstraßen, von denen mittlerweile viele in Fußgängerzonen umgewandelt wurden. Insgesamt umfassen die Erhebungen über 1,65 Mio. Fußgänger. Dies entspricht rund

2.650 Fußgänger pro Beobachtungsstunde je Standort, die mittleren Stundenwerte je Standort liegen zwischen 460 und 7.080 Fußgängern. Die Zählungen erfolgten durch Personen vor Ort mit Handstückzähler. [Heidemann 1967, S. 26 ff]

Heidemann extrahiert aus den gesammelten Daten drei Ganglinientypen, die er jeweils einem Straßentyp zuordnet („Geschäftsstraße einer Mittelstadt“, „großstädtische Straßen mit vorwiegendem Einkaufsverkehr“, „Straßen an der Grenze des eigentlichen Citybereichs mit dominierendem Berufsverkehr“). Zur Typisierung der Ganglinien verwendete er eine Faktorenanalyse, wobei die Methodik der Typisierung durch die damals verfügbaren technischen Hilfsmittel limitiert war. Die Ganglinien unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Existenz und der Lage der Morgenspitze sowie der Existenz und dem Umfang eines Rückgangs des Aufkommens zwischen 12 und 15 Uhr. [Heidemann 1967, S. 46 ff, 62 ff]

Abschließend entwickelt Heidemann ein Verfahren, mit dem Zählstellen mithilfe von Kurzzeitzählungen von zwei Stunden Dauer (7 bis 8 Uhr getrennt nach Richtungen sowie 14 bis 15 Uhr) einem Ganglinientyp zugeordnet werden können. Außerdem bestimmt er Hochrechnungsfaktoren zur Ermittlung des Tagesverkehrs aus Zählungen mit einer, zwei, drei oder vier Stunden Dauer. Die Ermittlung der Hochrechnungsfaktoren erfolgt für den gesamten Querschnitt sowie richtungsbezogen. Dabei gibt Heidemann jeweils sowohl Parameter für eine Hochrechnung der Zählwertes durch Multiplikation mit einem konstanten Wert ($y = c * x$ bzw.: Tagesverkehr = Faktor * Zählergebnis), wie auch Parameter für eine Hochrechnung mit Regressionsgerade ($y = a + b * x$ bzw.: Tagesverkehr = Faktor a + Faktor b * Zählergebnis) an. [Heidemann 1967, S. 70 ff]

Aufgrund der seit der Erhebung stark veränderten Voraussetzungen (z.B. Flexibilisierung von Arbeitszeiten, Änderung von Ladenöffnungszeiten, Umbau der Straßen zu Fußgängerzonen, usw.) ist davon auszugehen, dass diese Ergebnisse nicht direkt auf heutige Haupteinkaufsstraßen übertragbar sind.

3.2.2 Bohle et al. 1995

Bohle et al. untersuchten im Rahmen des Forschungsprojektes „Grundlagen zur Berücksichtigung des „Aufenthalts nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer“ bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen“ Art und Ausmaß des Aufenthalts von Fußgängern und Radfahrern an Hauptverkehrsstraßen. Dabei wurden – an acht Zählstellen für je eine Stunde (16-17 Uhr), an zwei Zählstellen über den ganzen Tag – Beobachtungen im Straßenraum mit Videokameras und Zählpersonal durchgeführt. Aufgenommen wurden neben der Anzahl, Dauer und Zweck von Aufhalten von Fußgängern und Radfahrern im Straßenraum auch die Zahl der sich durch den Beobachtungsabschnitt ohne Aufenthalt hindurchbewegenden Verkehrsteilnehmer [Bohle 1995, S. 8 ff]. Für den Aufenthalt wurde ein Hochrechnungsfaktor für die Umrechnung der Zählung von 16-17 Uhr auf den Tagesverkehr berechnet (Faktor 6,5) [Bohle 1995, S. 34], wobei dieser Faktor nur auf je eintägigen Erhebungen von zwei Zählstellen beruht. Für den Längsverkehr wurde anhand der einen ermittelten Ganglinie sowie durch die Kombination von Heidemann 1967 und Hautzinger et al. 1989 ein Hochrechnungsfaktor abgeleitet (Faktor 12,5) [Bohle 1995, S. 30 f]. Dieser Faktor kann allerdings allenfalls eine grobe Abschätzung für die bearbeiteten Beobachtungsstellen darstellen, da hierbei Berechnungen von Heidemann auf der Grundlage von Daten aus Zählungen an Haupteinkaufsstraßen mit aus Mobilitätsbefragungen stammenden Daten zum genutzten Hauptverkehrsmittel von Hautzinger et al. kombiniert werden. Zusätzlich geben Bohle et al. Monatsfaktoren für die Ermittlung der mittleren Fußverkehrsstärke auf der Basis von von Hautzinger et al. erhobenen Daten an (vgl. Tabelle 1). [Bohle 1995, S. 31]

| Monat | Faktor |
|-----------|--------|
| Januar | 1,1 |
| Februar | 1,4 |
| März | 1,0 |
| April | 1,0 |
| Mai | 0,8 |
| Juni | 1,1 |
| Juli | 0,9 |
| August | 0,7 |
| September | 1,1 |
| Oktober | 0,9 |
| November | 1,4 |
| Dezember | 1,3 |

Tabelle 1 Monatsfaktoren nach Bohle 1995

Bohle et al. zeigen eine Beeinflussung des Aufenthalts durch die Ladenöffnungszeiten [Bohle 1995, S. 18]. Dies bestätigt auch für diese Mitte der 1990er Jahre aufgenommenen Daten das bereits oben in Bezug auf Heidemann angesprochene Problem der fehlenden Übertragbarkeit auf heutige Verhältnisse.

3.2.3 Schweiz 2005

Eine systematische Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren für den Fußverkehr erfolgte im Forschungsprojekt „Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs“ in der Schweiz [Zweibrücken et al. 2005]. Das Projekt hatte vor allem die Aufgabe, einen praxisorientierten Leitfaden für die Erhebung des Fuß- und Radverkehr zu erstellen. Neben einer umfangreichen Erörterung

der Vor- und Nachteile existierender Erhebungsmethoden diene das Projekt u.a. auch der Berechnung der genannten Hochrechnungsfaktoren.

Zur Quantifizierung des Fußverkehrs wurden im Rahmen des Projektes zwischen September 2003 und Januar 2005 an 42 Stellen in sechs Städten Zählungen mit unterschiedlicher Dauer (i.d.R. 12 bis 15 Stunden ab 7 Uhr) durchgeführt und dabei rund 168.000 Fußgänger registriert [Zweibrücken 2005, S. 138], wobei je nach Fragestellung (Ganglinie, Spitzenstunde, Hochrechnungsfaktoren) nur ein Teil der Zählstellen berücksichtigt werden konnte (bspw. für Hochrechnungsfaktoren 26 Erhebungen á 12 Stunden (Zeitraum 7-19 Uhr) mit jeweils mindestens 100 Fg/h) (vgl. Abbildung 1) [Zweibrücken 2005, S. 37 ff., S. 79, S. 86].

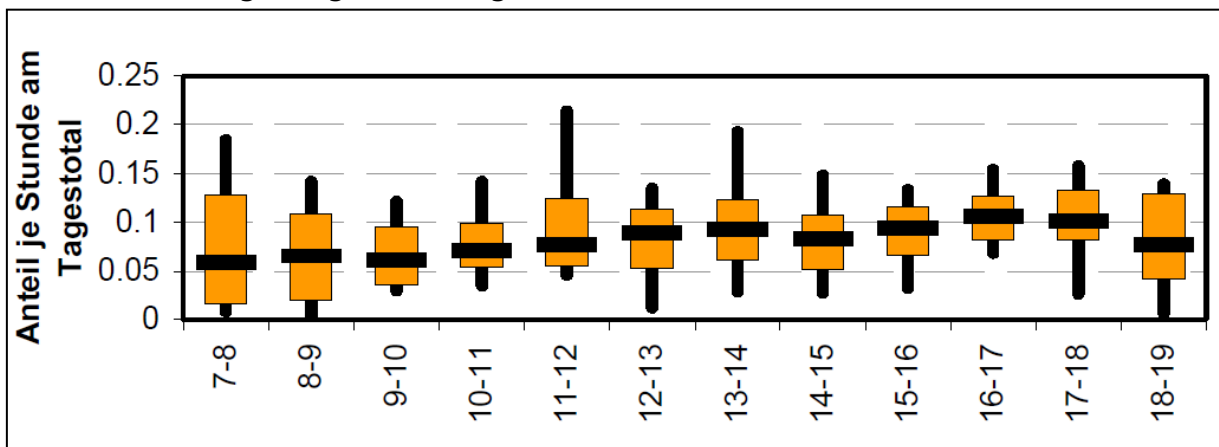


Abbildung 1 Anteil der Stunden am Fußverkehr zwischen 7 und 19 Uhr (Schweiz 2005), die Boxen umfassen 90% der Werte [aus: Zweibrücken 2005, S. 40]

Hinzu kommen Kurzzeitzählungen (je 30 Minuten) an vier Standorten in Zürich und Basel für die Dauer von 30 Wochen zwischen Oktober 2003 und Oktober 2004 zur Abschätzung des Einflusses des Wetters. Von den vier gezählten Standorten wurden allerdings aufgrund der zu geringen Datenmenge nur zwei Zählstellen in Stadtquartieren in Zürich berücksichtigt [Zweibrücken 2005, S. 28].

Ausgehend von den erhobenen Daten wurden Hochrechnungsfaktoren ermittelt, und zwar für die Hochrechnung

- von 15-Minuten-Zählungen auf 1 Stunde (Basis: mind. 100 oder mind. 200 Fg/h),
- von 30-Minuten-Zählungen auf 1 Stunde (Basis: mind. 100 oder mind. 200 Fg/h),
- von Zählungen mit der Dauer von 1 Stunde auf den Tageswert (hier: 7-19 Uhr; Basis: mind. 100 Fg/h) sowie
- von Zählungen mit der Dauer von 2 Stunden auf den Tageswert (hier: 7-19 Uhr; Basis: mind. 100 Fg/h).

Wie zu erwarten ist die Hochrechnung umso präziser, je länger der als Basis gewählte Zeitraum dauert. Die besten Ergebnisse liefert demnach eine Hochrechnung auf Basis einer geteilten 2-Stunden-Zählung von 10 bis 11 sowie von 16 bis 17 Uhr mit einem relativen Fehler von maximal 24 % in 95 % der Fälle. Die besten Ergebnisse für eine Hochrechnung auf der Basis einer Stunde können mit einer Zählung von 16 bis 17 Uhr erreicht werden (max. 37 % Abweichung an 95 % der Zählstellen). [Zweibrücken 2005, S. 37 ff]

Zu berücksichtigen ist bei diesen Hochrechnungsfaktoren, dass das – zwischen den Zählstellen stärker schwankende – Fußverkehrsaufkommen nach 19 Uhr grundsätzlich nicht erhoben wurde (vgl. Abschnitt 3.5.1). Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Faktoren auf Deutschland ist zudem die größere Bedeutung des Fußverkehrs in der Schweiz zu beachten.³

3.2.4 Weitere Hochrechnungsmethoden

Maier verwendete für seine Forschung zur Fußgängersicherheit hochgerechnete Verkehrsaufkommen. Für Verkehrsstraßen ermittelte er Aufkommen anhand der von Heidemann 1967 vorgeschlagenen Methode (Zählung einiger Stunden, Hochrechnung auf Tagesverkehr) [Maier 1984, S. M 25 ff], wobei diese Methode sich – wie bereits oben beschrieben – nur auf innerstädtische Haupteinkaufsstraßen bezieht. Für Anliegerstraßen nutzte Maier Kurzzeitzählungen, bei denen kontinuierlich während des Tages (z.B. über 8 Stunden) je Stunde und Zählstelle ein 10-Minuten-Intervall beobachtet und die so ermittelten Werte mit sechs multipliziert wurden. Auf diese Weise konnte durch den Einsatz von nur einer Zählperson die Verkehrsaufkommen an mehreren (maximal 4), nahe beieinander⁴ liegenden Querschnitten erhoben werden. [Maier 1984, S. M 29 ff]

In Colorado (USA) wurde 2012 im Auftrag des Department of Transportation ein Modell entwickelt, mit dem Kurzzeitzählungen mittels Faktoren für Wochentage und Monate auf jährliche Aufkommen des Fuß- und Radverkehrs hochgerechnet werden können. Die Faktoren sind für drei Siedlungsstrukturtypen separat verfügbar. Die Anwendung komplexerer Modelle (u.a. mit Berücksichtigung des Wetters) lieferte zwar besserer Ergebnisse, die Verbesserung steht nach Ansicht der Autoren jedoch nicht im Verhältnis zu dem damit einhergehenden zusätzlichen Arbeitsaufwand. Die monatlichen Schwankungen liegen dabei

³ Der Anteil des Fußverkehrs am Modal Split liegt in den Schweizer Großstädten mit Werten zwischen 30 und 39 % [Städtevergleich 2012, S. 8] zumeist über den in deutschen Städten üblichen 27 bis 31 % [SrV 2013a, Tabelle 11].

⁴ Voraussetzung: Weg von einer Zählstelle zur nächsten kleiner 5 Minuten.

deutlich über den von Bohle 1995 für Deutschland angegebenen Werten. [Nordback 2013, S. 115 ff, 125 ff]

3.3 Beschreibung des Fußverkehrsaufkommens über Stellvertretergrößen

Aufgrund des hohen Aufwandes bei der Zählung von Fußgängern sowie der geringen verfügbaren Datenbasis wurde v.a. im Rahmen der Verkehrssicherheitsforschung immer wieder versucht, das Fußverkehrsaufkommen (teilweise auch den gesamten nichtmotorisierten Verkehr) durch Stellvertretergrößen abzubilden. Diese beziehen sich i.d.R. auf die zu betrachtende Stelle umgebende Gebäude- und Nutzungsstruktur.

3.3.1 Einzelhandelsanteil und Dichteziffer

Alrutz et al. führten zu Bestimmung der Flächenansprüche von Fußgängern u.a. Zählungen mittels Videobeobachtungen an 40 Abschnitten von straßenbegleitenden Gehwegen in verschiedenen deutschen Städten durch. Neben der Stärke des Fußverkehrs wurden dabei auch die Aufteilung der Fußgänger auf Gruppen bzw. Alleingehende, die Anteile der Personen mit Gegenständen sowie Art und Umfang des Aufenthalts aufgenommen und diese Daten in Beziehung zur Nutzungs- und Bebauungsstruktur der jeweiligen Umgebung gesetzt [Alrutz 1999, S. 8 f]. Gezählt wurde an Werktagen von 11 bis 13 sowie 16-18 Uhr [Alrutz 1999, S. 14]. Die Bildung von Ganglinien ist damit anhand der erhobenen Daten nicht möglich.

Anhand der Zählungen untersuchten Alrutz et al. den Zusammenhang zwischen Fußgängeraufkommen und Umfeld, abgebildet durch zwei Kenngrößen:

- Einzelhandelsanteil im Umfeld in Prozent
- Städtebauliche Dichteziffer des Umfeldes, entspricht der im Umfeld dominierenden Geschosszahl

Zusammenhänge zeigten sich zwischen Fußverkehrsaufkommen und Einzelhandelsanteil ($r = 0,79$) sowie zwischen Fußverkehrsaufkommen und Dichteziffer ($r = 0,56$). Die zum Teil erheblich schwankenden Fußverkehrsstärken verdeutlichen allerdings demnach auch, dass auch andere Merkmale einen relevanten Einfluss auf das Verkehrsaufkommen haben. [Alrutz 1999, S. 20 ff]

Zur Abschätzung des Fußverkehrsaufkommens aus der Struktur des Umfeldes empfehlen Alrutz et al. die Dichte der Geschäftsnutzungen. Diese berechnet sich aus der Länge der

Einzelhandelsnutzungen sowie der publikumsorientierten Dienstleistungen im Verhältnis zur gesamten Bebauungslänge. Als weitere Faktoren werden die Nutzung der Obergeschosse, ÖV-Haltestellen sowie bedeutende Einzelziele (z.B. Schulen, Sehenswürdigkeiten) genannt. Anhand des Einzelhandelsanteils werden Gehwege in vier verschiedene Nutzungstypen eingeteilt und jedem Typen zu erwartende Fußverkehrsaufkommen pro Stunde zugewiesen. [Alrutz 1999, S. 29 f, S. 80 ff]

3.3.2 Umfeldfaktor

Schüller entwickelte auf Grundlage u.a. der Arbeiten von Bohle [Bohle 1995] und Monse [Monse 2008] einen *Umfeldfaktor*, der die Nutzungsstruktur der an einer Straße anliegenden Bebauung zusammenfasst und auf diese Weise als Repräsentant für das Aufkommen nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer dient. Der Umfeldfaktor ist dabei definiert als Quotient aus Länge der Bebauung entlang einer Straße und der Länge des jeweiligen Straßenabschnitts, wobei die Bebauung mit einem Faktor für die Art der Nutzung gewichtet wird. Die Bebauung wird dabei differenziert nach reiner Wohnbebauung (Gewicht 2), Wohnbebauung mit Geschäftsbesatz (Gewicht 3), Bebauung mit ausschließlichem Geschäftsbesatz (Gewicht 2) sowie Bebauung mit sonstiger gewerblicher Nutzung (Gewicht 1). Unter „Geschäftsbesatz“ fallen dabei neben dem Einzelhandel auch Gaststätten, Bibliotheken, Kinos und Schulen [Schüller 2010, S. 78 ff]. Der Umfeldfaktor dient nicht der Berechnung von Verkehrsaufkommen, sondern geht als Größe direkt in Verkehrssicherheitsmodelle ein.

Das größte offensichtliche Problem dieses Ansatzes ist die fehlende Abbildung der Bebauungshöhe. So kann bspw. eine Einfamilienhaussiedlung den gleichen Umfeldfaktor erzeugen wie Punkthochhäuser (jeweils „reine Wohnbebauung“), obwohl Letztere aufgrund der deutlich größeren Einwohnerdichte i.d.R. eine größere Belebtheit des Straßenumfeldes zur Folge haben. Auch die „Bebauung mit sonstiger gewerblicher Nutzung“ ist wenig differenziert. So verfügt z.B. eine mit Bürohochhäusern bebaute Straße in einem innerstädtischen Geschäftszentrum mit schon aufgrund der dort üblicherweise hohen ÖV-Nutzung erhöhten Fußverkehrsfrequenzen über den gleichen Umfeldfaktor wie eine Straße am Stadtrand, deren Bebauung aus Lagerhallen und Werkstätten besteht.

3.3.3 Bestimmung von Fußverkehrsaufkommen durch Modelle

Aurich 2012

Aurich 2012 berücksichtigt die Umfeldnutzung in Unfallmodellen durch den Einbezug verschiedener, im Wesentlichen auf Geoinformationssystemen (GIS) basierende Parameter. Dabei wird auf die Abschätzung des Verkehrsaufkommens des nichtmotorisierten Verkehrs verzichtet, stattdessen gehen die die Umfeldnutzung beeinflussenden Merkmale direkt in

die Unfallmodelle ein. Aurich unterteilt dabei die Umfeldnutzung determinierenden Variablen in drei Gruppen ein:

- Soziodemografie, z.B. Bevölkerungsdichten verschiedener verhaltenshomer Gruppen, Erwerbstätigendichte, Dichte zugelassener PKW etc.
- Wirtschaft, z.B. Arbeitsplatzdichte, Verkaufsflächendichte etc.
- Bildung, z.B. Kindergarten- und Schulplatzdichte, Studienplatzdichte

Zusätzlich bezieht er auch den Umfeldfaktor nach [Schüller 2010] mit ein. Die via GIS aus dem Verkehrsmodell Dresden gewonnenen o.g. Daten werden über einen Puffer mit einem Radius von 200 m auf die Netzelemente umgelegt, eine Validierung der verwendeten Variablen führte Aurich anhand der Daten von [Monse 2008] durch.

Abweichend von den bisher genannten Stellvertretergrößen berücksichtigt Aurich damit indirekt auch die Bebauungsdichte einschließlich der Geschosshöhe sowie die Bebauung hinter den direkt an eine Straße anliegenden Häuserzeilen [Aurich 2012, S. 81, S. 92 ff]. Zu beachten sind dabei allerdings die in der Verkehrsnachfragemodellierung bekannten Probleme hinsichtlich der Ermittlung von Siedlungsstrukturgrößen, z.B. fehlende Daten zur Lokalisierung von Arbeitsplätzen.

Nordamerikanische Modelle

Mehrere in Nordamerika (USA, Kanada) vor allem für Verkehrssicherheitsanalysen verwendete Prognosemodelle berechnen ähnlich der Methodik von Aurich 2012 das Aufkommen an Fußgängern an einer Kreuzung (seltener einem Straßenabschnitt) GIS-basiert aus verfügbaren Strukturdaten. Eine Übersicht über einige der Modelle ist z.B. in [Schneider 2013] enthalten. Anders als bei Aurich liegen im Ergebnis der Modellierungen allerdings konkrete Fußverkehrsaufkommen vor. Aufgrund des Fokus auf die Verkehrssicherheit beschränken sich die Modelle i.d.R. auf den Querverkehr ohne Berücksichtigung von Längsverkehr oder Aufenthalt. Ganglinien des Verkehrsaufkommens werden in den Modellen nicht berücksichtigt.

Schneider et al. testeten verschiedene Modelle zur Berechnung des wöchentlichen Fußverkehrsaufkommens an Kreuzungen. Dazu wurden 50 Kreuzungen systematisch so ausgewählt, dass sie einen möglichst großen Bereich an möglichen Nutzungen und Bebauungsdichten in der Umgebung abdeckten. Das die Zählungen am besten repräsentierende Modell (angepasstes $r^2 = 0,897$) berechnet das Fußverkehrsaufkommen linear mit den Variablen

- Bevölkerung im 0,5-Meilen-Radius,

- Anzahl an Beschäftigten im 0,25-Meilen-Radius,
- Anzahl an Einzelhandelseinrichtungen im 0,25-Meilen-Radius,
- Anzahl der Haltestellen von Nahverkehrsbahnen im 0,1-Meilen-Radius

sowie einem konstanten (negativen) Faktor. [Schneider 2009, S. 8 f]

Bei der Entwicklung eines Modells für Fußgängerquerungen an Kreuzungen in San Francisco durch Liu und Griswold identifizierten diese drei Variablen mit starkem Einfluss auf das Fußverkehrsaufkommen: Bevölkerungs- und Arbeitsplatzdichte, ÖV-Erschließung sowie Flächennutzung, jeweils in unterschiedlichem Radius um die jeweilige Untersuchungsstelle. Die Autoren betonen u.a. die Relevanz dieser unterschiedlichen Einzugsbereiche je nach Variable zur bestmöglichen Modellierung der Fußverkehrsaufkommen. Dies unterstreicht die zwischen verschiedenen Nutzungen unterschiedliche Reichweite der Wirkung auf das Fußverkehrsaufkommen [Liu 2009, S. 13 ff]. Schneider et al. publizierten vier Jahre später für San Francisco ein weiteres Modell mit einer größeren Anzahl an berücksichtigten Variablen (angepasstes $r^2 = 0,804$) [Schneider 2013].

3.3.4 Immobilienpreise

Einen Hinweis auf eine gänzlich andere Möglichkeit gibt Heidemann für die Abschätzung des Fußverkehrsaufkommens im Längsschnitt von Einkaufsstraßen. Er zeigt anhand einer Auswahl an Haupteinkaufsstraßen vier deutscher Städte, dass das Fußverkehrsaufkommen im Verlauf einer Straße (ermittelt durch mehrere zeitgleiche Querschnittszählungen) eine starke Ähnlichkeit mit dem Verlauf der Grundstückspreise aufweist [Heidemann 1967, S. 11 ff]. Dies ist insofern naheliegend, als dass der Wert eines Einkaufsstandortes aus Unternehmenssicht stark von der Passantenfrequenz abhängt. Auf diese Weise könnte – sofern sich dieser Zusammenhang mit einer größeren Stichprobe statistisch absichern ließe – zumindest für Einkaufsstraßen anhand der Immobilienwerte eine Abschätzung der Fußgängerfrequenz vorgenommen werden, zumal Grundstückspreise in Form von Bodenrichtwertkarten in allen Städten digital vorliegen. Eine derartige Methodik ließe sich allerdings nur in Straßen mit primärer Einzelhandelsnutzung anwenden, nicht jedoch für Straßen anderen Typs, da dort Immobilienpreise i.d.R. stärker oder ausschließlich von anderen Faktoren beeinflusst werden. Je nach Standort können die Grundstückswerte zudem auch durch Immobilienspekulationen verzerrt sein.

3.4 Weitere Erhebungen

In der Schweiz existieren seit mindestens 2011 mit zunehmender Zahl Dauerzählstellen, die das Fußverkehrsaufkommen kontinuierlich in 15-Minuten-Intervallen und richtungsgetreunt erfassen. Die meisten davon installierte Zürich (24), weitere sind bspw. in Basel und St.

Gallen im Einsatz [Zürich 2016; Sauter 2016, S. 8 f]. Die Rohdaten der Erfassung in Zürich werden auf dem Open-Data-Portal der Stadt publiziert. Aufgrund den systematischen Abweichungen bei der Erhebung mit automatischen Dauerzählstellen (vgl. Abschnitt 3.1) bedarf es bei diesen Daten zur Herstellung der Verwendbarkeit einer umfangreichen Aufbereitung und Plausibilitätsprüfung.

In Luzern führte die Stadt im Juni und Juli 2012 auf den fünf Brücken, die die beidseits des Flusses Reuss gelegenen Teile der Altstadt verbinden, Fußgängerzählungen mittels automatischer Zählgeräte durch [Luzern 2012]. Gezählt wurde für die Dauer von jeweils einer Woche an sechs Standorten, davon vier reinen Fußgängerbrücken sowie zwei Gehwegen einer von allen Verkehrsarten genutzten Brücke. Durch manuelle Kontrollzählungen von je drei mal zwei Stunden konnten die Zählraten um die auf Messfehlern beruhenden Abweichungen korrigiert werden.

Insgesamt lag die Zahl der Fußgänger bei rund 80.000 pro Tag, an Samstagen erhöhte sich das Fußverkehrsaufkommen auf ca. 110.000. Für jede Zählstelle sowie für alle Zählstellen zusammen wurden jeweils durchschnittliche tägliche sowie samstägliche Ganglinien gebildet (vgl. Abbildung 2).

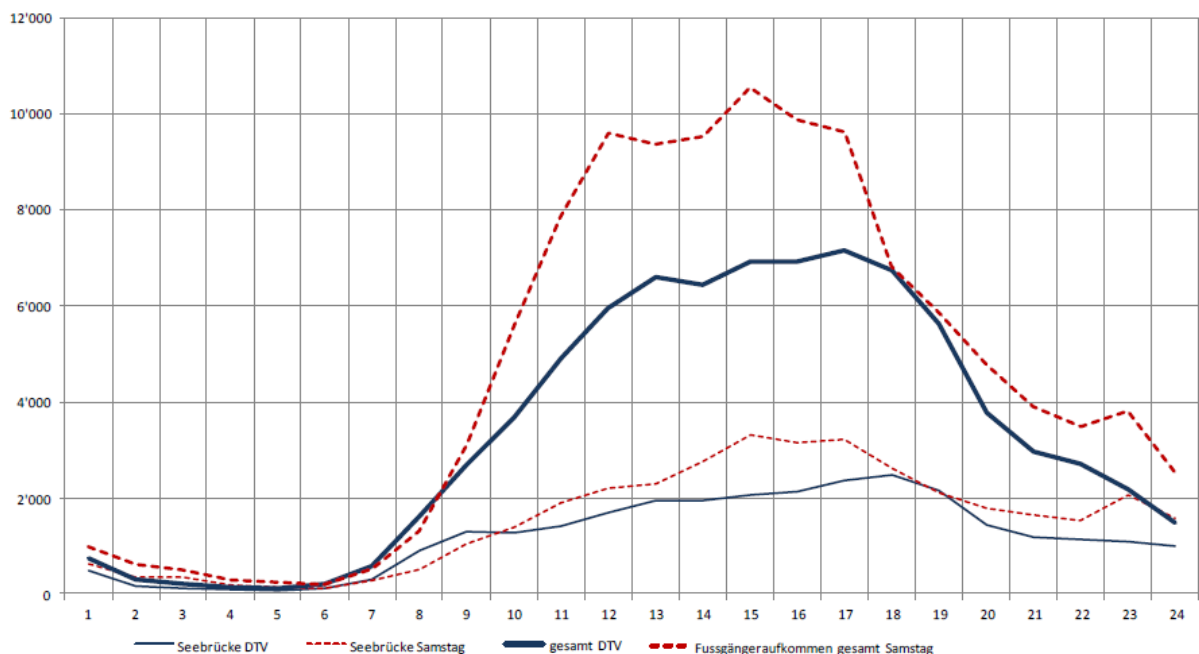


Abbildung 2 Tagesganglinien auf Brücken in Luzern gesamt (5 Querschnitte) sowie zum Vergleich die am höchsten belastete Brücke (Seebücke) [aus: Luzern 2012, S. 10]

Mit Ausnahme einer Brücke (Rathaussteg) liegen die Spitzenstunden jeweils nach 13 Uhr, vor 8 Uhr ist das Aufkommen an allen Zählstellen verhältnismäßig gering. Der Verlauf der

Ganglinien weist an den meisten Zählstellen ein langgezogenes Plateau nachmittags und einen nur langsamen Abfall nach 19 Uhr auf, hinzu kommt ein erhöhtes Verkehrsaufkommen am Samstag. Dies legt eine – angesichts der Zentrumslage der Zählstellen auch zu erwartende – hohe Bedeutung des Einkaufsverkehrs in Verbindung mit touristischen Verkehren und (u.a. abendlichen) Freizeitwegen nahe. [Luzern 2012]

In Wien wurde 2005 im Rahmen der händischen Straßenverkehrszählung auf Gemeindestraßen eine Auswertung der gezählten Fußgänger vorgenommen. Aufgrund der Auswahl der Zählstellen und Durchführung der Zählung ausschließlich nach Gesichtspunkten der Erfassung des motorisierten Verkehrs konnten von den sieben Zählstellen mit einer 16-stündigen Erfassung (6-22 Uhr) nur zwei als Basis für die Hochrechnung verwendet werden. An den anderen Zählstellen fehlten entweder die Daten des Fußverkehrs, oder die Zählstellen lagen an Straßen ohne Fußverkehrsaufkommen.

Bei den beiden genannten Zählstellen lagen Zählzeiten für insgesamt vier Tage (Samstag, Montag, zwei Freitage) vor, dementsprechend keine Normalwerkstage. Diese Daten dienen als Grundlage für die Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren. Damit konnten aus den Zählzeiten von 49 weiteren Querschnitten mit Kurzzeitmessungen (je nach Zählstelle 1x3+5x4 Stunden bzw. 2x4 Stunden) Verkehrsaufkommen für den Zeitraum von 6 bis 22 Uhr berechnet werden. [Wien 2005, S. 19 ff]

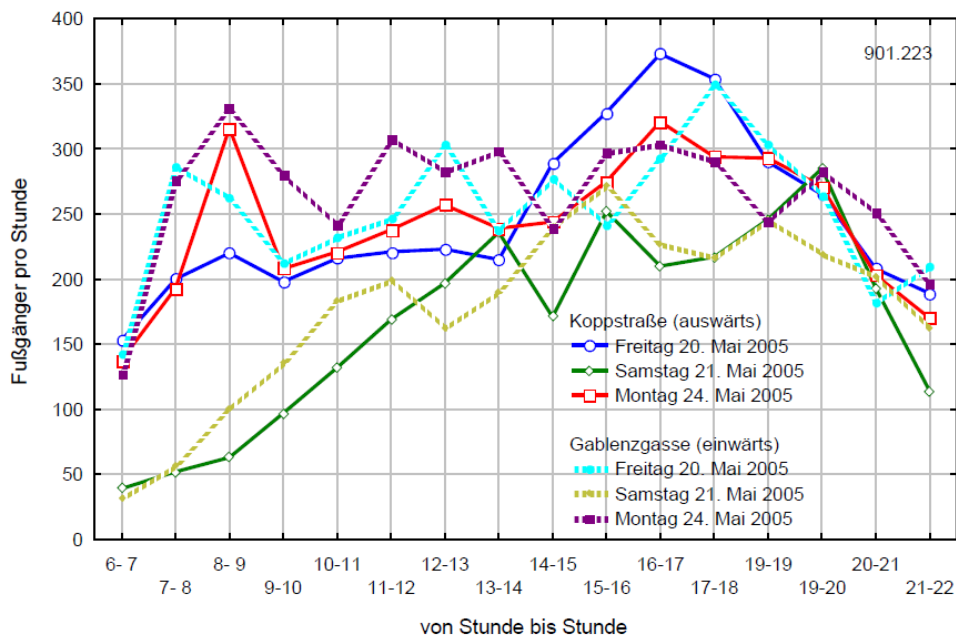


Abbildung 3 Ganglinien der Zählstelle Koppstraße in Wien, 2005 [aus: Wien 2005, S. 22]

Darauf aufbauend führte die Stadt Wien im Mai 2010 eine systematische Zählung von Fußgängern durch. An 30 Querschnitten wurde an Werktagen jeweils von 6 bis 9 und 15 bis 19 Uhr der Fußverkehr erhoben, die Ergebnisse richtungsbezogen und nach Geschlecht aufgeschlüsselt veröffentlicht. Das durchschnittliche Fußverkehrsaufkommen pro Zählstelle betrug innerhalb der siebenstündigen Zählung 2.100 Personen. [Wien 2010] Die Extraktion von (Tages-)Ganglinien ist bei der Erhebung 2010 aufgrund des nur einen Teil des Tagesverkehrs umfassenden Zählzeitraumes nicht mehr möglich.

3.5 Temporäre Einflussfaktoren

Ganglinien beschreiben das Aufkommen über die Zeit und bilden damit die tageszeit- bzw. uhrzeitbedingte Variabilität. Neben dem in dieser Arbeit ausführlich behandelten Verlauf des Aufkommens innerhalb eines Tages infolge des Rhythmus des Alltags von Menschen wird das Verkehrsaufkommen von weiteren kontinuierlichen wie stochastischen Einflüssen determiniert, so z.B. vom Jahres- und Wochenverlauf sowie dem Wetter.

3.5.1 Nachtstunden

Die Datenbasis zum Fußverkehrsaufkommen in den Abend- und Nachtstunden (nach 19 Uhr) ist nochmals geringer als für das Aufkommen tagsüber. Systematische Untersuchungen über mehrere Zählstellen fehlen vollständig.

Naheliegender ist, dass bzgl. des Aufkommens abends und nachts die Umfeldnutzung eine überragende Rolle spielt, bspw. im Hinblick auf im Lauf des Abends aufgesuchte Einrichtungen (Restaurants, Kinos, Theater etc.). Zu erwarten sind zudem erhebliche Schwankungen im Aufkommen an verschiedenen Tagen an derselben Zählstelle aufgrund von Veranstaltungen (z.B. Konzerte, Sportveranstaltungen etc.) sowie aufgrund der nachts geringeren Frequenzen, die i.d.R. höhere Schwankungen beinhalten.

Heidemann 1967 ermittelte für die Verlängerung einer Zählung von 12 Stunden (7-19 Uhr) auf 16 Stunden (6-22 Uhr) eine Erhöhung der gezählten Fußgänger um maximal 10% [Heidemann 1967, S. 26]. Allerdings ist davon auszugehen, dass diese Einschätzung schon aufgrund der seitdem deutlich verlängerten Ladenöffnungszeiten i.V.m. den bei Heidemann primär berücksichtigten Haupteinkaufsstraßen nicht auf heutige Verhältnisse übertragbar ist. Maier geht von einem Anteil des gesamten nächtlichen Fußverkehrsaufkommens von unter 10 % aus [Maier 1984, S. 21].

Einige der von Zweibrücken et. al. durchgeführten Erhebungen umfassen zumindest den Zeitraum bis 22 Uhr. Dabei zeigte sich eine ortsabhängige Bedeutung dieses Zeitraumes für das Gesamtaufkommen: Während in den kleineren Städten der Anteil der nach 19 Uhr gezählten Fußgänger gering war, umfasste dieser Zeitraum an Zählstellen in Zürich bis zu 30 % aller zwischen 7 und 22 Uhr gezählten Fußgänger und enthielt zudem vereinzelt die Spitzenstunde der gesamten Zählzeit. Eine in diesem Zusammenhang genannte Erhebung der Stadtpolizei von Zürich mit der Dauer von einer Woche an einer Erhebungsstelle ergab einen Anteil der Nachtstunden von rund 20% am Fußverkehr des gesamten Tages. [Zweibrücken 2005, S. 41]

3.5.2 Wetter und Jahreszeit

Es ist naheliegend, dass die Wetterabhängigkeit des Fußverkehrs stark durch den Zweck des Weges beeinflusst wird. So sind Pflichtaktivitäten (bspw. Arbeit, Schule) nicht oder kaum substituierbar und zudem meist auch hinsichtlich des Zeitpunktes festgelegt. Dem gegenüber können Wege bspw. zu Freizeitaktivitäten bei „unpassendem“ Wetter zumeist zeitlich und räumlich verändert oder (z.B. durch Aktivitäten Zuhause) ersetzt werden. Summiert über alle Modi ist das Verkehrsaufkommen (wie auch die Verkehrsleistung) im Winter im Allgemeinen geringer als im Sommer [MiD 2008b, S. 145 f].

Bei den von Zweibrücken et al. selbst durchgeführten Kurzzeiterhebungen zeigte sich im Winter ein Rückgang des mittleren Fußverkehrsaufkommens, nicht jedoch des Modal-Split-Anteils des Fußverkehrs an den Erhebungsstellen. Ein Einfluss des Wetters (Sonne, Regen/Schnee) auf den Modal-Split-Anteil sowie das mittlere Aufkommen konnte nicht ermittelt werden, während eine in Relation zur Jahreszeit geringe Temperatur („Kalt für die Jahreszeit“, im Vergleich zu „Warm für die Jahreszeit“) zu einem leichten Rückgang des mittleren Fußverkehrsaufkommens, nicht jedoch zu einer Veränderung des Modal-Split-Anteils führte. Zu beachten ist bei diesen Ergebnissen allerdings die geringe Datenbasis (2 Zählstellen á 30 Wochen mit 30-Minuten-Erhebungen).

Aultman-Hall et al. kamen bei der Auswertung der Zählraten eines Jahres einer automatischen Dauerzählstelle in einer Kleinstadt in Vermont (USA) zu dem Ergebnis, dass

- Niederschlag das Fußverkehrsaufkommen im Mittel um 13% reduziert und
- das Fußverkehrsaufkommen im Winter im Mittel um 16% niedriger liegt.

Allerdings konnten Wetter und Jahreszeit nur rund 30 % der Schwankungen im Fußverkehrsaufkommen erklären [Aultman-Hall 2009, S.18 f]. Da in den USA das Mobilitätsverhal-

ten eine deutlich andere Struktur hat, ist die direkte Übertragbarkeit auf deutsche Verhältnisse zweifelhaft. So ist anhand der publizierten Tagesganglinie u.a. erkennbar, dass der Berufs- und Schülerverkehr beim Fußverkehr an der Zählstelle nur eine untergeordnete Rolle spielt. Obwohl die Zählstelle nicht in einer reinen Einkaufsstraße liegt, sondern in der Umgebung auch Wohnungen und Arbeitsstätten vorhanden sind, stieg die Anzahl an Fußgänger erst nach acht Uhr morgens deutlich an.

Weiter kam die Untersuchung zu dem Ergebnis, dass zwar das absolute Aufkommen des Fußverkehrs Schwankungen in Abhängigkeit von Jahreszeit und Wetter unterworfen ist, die Anteile der einzelnen Stunden am gesamte Tagesverkehr dagegen vergleichsweise konstant sind (95%-Konfidenzintervalle der Anteile am Tagesverkehr in Prozent: max. +/- 0,3 %) [Aultman-Hall 2009, S. 8 ff]

3.6 Fazit

Nur in einer Untersuchung wurde eine Typisierung der Ganglinien vorgenommen, diese beschränkt sich auf Einkaufsstraßen [Heidemann 1967]. Ebenso enthält nur eine Untersuchung großflächig anwendbare Hochrechnungsfaktoren [Zweibrücken 2005], in diesem Fall für die Schweiz. Daneben existieren mehrere Untersuchungen, die – mit unterschiedlichen Zielstellungen – Zählungen des Fußverkehrs durchgeführt haben sowie – wiederum in der Schweiz – systematische dauerhafte Erhebungen mittels automatischer Zählstellen.

Der derzeitige Kenntnisstand bietet damit keine ausreichende Grundlage für die Beantwortung der eingangs genannten Frage- bzw. Zielstellungen. Im Folgenden soll daher anhand aktueller Videobeobachtungen aus Deutschland Zähldaten aufbereitet bzw. generiert werden, mit denen die für diese Arbeit formulierte Aufgabenstellung bearbeitet werden kann.

4 METHODIK

Zu Bearbeitung der Aufgabenstellung sind Ganglinien des Fußverkehrs für mehrere Querschnitte notwendig, die, wie oben beschrieben, aus der Literatur für Deutschland nicht verfügbar sind.

Die PTV Transport Consult GmbH führt im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) das Forschungsprojekt *Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanten Fußgängerhaltens* (FE 82.602/2013) durch. Das Projekt umfasst u.a. Videobeobachtungen an 78 Zählstellen in vier deutschen Großstädten. Pro Zählstelle wurden für je einen Tag die Fußgänger im Längs- und Querverkehr sowie der Fahrzeugverkehr von 6 bis 10 und 15 bis 19 Uhr gezählt. Alle Erhebungen fanden zwischen April bis August 2016 an Normalwerktagen mit ganz überwiegend trockener Witterung statt.

Insgesamt wurden an allen Zählstellen zusammen während des 8-Stunden-Zeitraums im Längsverkehr (Querschnittszählung) rund 100.000 Fußgänger gezählt. Durch PTV erfolgten bereits verschiedene Auswertungen v.a. hinsichtlich des Querungsverhaltens und (anhand von Unfalldaten) hinsichtlich der Verkehrssicherheit der Fußgänger.

4.1 Betrachtete Zeiträume

Die genannten Videoaufnahmen umfassen unterschiedliche Zeiträume, immer jedoch mindestens einen Tag von 6 bis 19 Uhr.

Aus der Bearbeitung des Projektes sind für alle Zählstellen Daten für jeweils vier Stunden vor- und nachmittags verfügbar. Für die Vervollständigung der Ganglinien für den Tagesverkehr ist damit mindestens die Erhebung der Daten für den Zeitraum von 10 bis 15 Uhr notwendig. Die Erhebung der vor allem hinsichtlich der Auswirkungen von Ladenöffnungszeiten bedeutsamen Stunde von 19 bis 20 Uhr kann nur an den Zählstellen erfolgen, an denen Videos für diesen Zeitraum vorliegen.

Eine Berücksichtigung des Verlaufs der Fußverkehrsaufkommen bei Nacht ist zwar wünschenswert (vgl. dazu auch den im Abschnitt 3.5.1 dargestellten Mangel an Informationen hierzu), aber aufgrund des damit verbundenen Erhebungsaufwandes nicht Teil dieser Arbeit. Es ist davon auszugehen, dass (wie auch von [Zweibrücken 2005, S. 41] bestätigt) das Fußverkehrsaufkommen nach 20 Uhr zwischen Zählstellen noch stärker differiert als tagsüber. Deswegen – und aufgrund der dann auftretenden geringeren Anzahl an Fußgängern – sind nachts mehr Zählquerschnitte notwendig, um belastbare Zahlen zu erheben. Hinzu

kommen bei den vorliegenden Videos Probleme bzgl. der Erkennbarkeit der Fußgänger bei Nacht. Eine Erhebung mit dem Ziel der Berücksichtigung des nächtlichen Fußverkehrs müsste dementsprechend diese Erkennbarkeit von Anfang an berücksichtigen.

Gleitende Stunden

Im Rahmen der Auswertungen wird wiederholt auf gleitende Stunden zurückgegriffen, bei denen vier aufeinanderfolgende 15-Minuten-Intervalle aggregiert werden. Entsprechend ist bei derartigen Auswertungen jeder 15-Minuten-Wert (mit Ausnahme der ersten und letzten 45 Minuten des Zählzeitraumes) viermal in den dargestellten Werten enthalten.

Grund hierfür ist, dass gleitende Stunden – sowohl absolut, wie auch relativ – am ehesten geeignet sind, die Entwicklung des Aufkommens darzustellen und zu analysieren. Auf diese Weise können einerseits gegenüber 15-Minuten-Intervallen kurzfristige, auf zufälligen Ereignissen beruhende Schwankungen ausgeglichen werden, andererseits gegenüber normalen vollen Stunden auch Schwankungen innerhalb einer Stunde abgebildet werden.

4.2 Betrachtete Merkmale

Im Forschungsprojekt wurden beim Fußverkehr Quer- und Längsverkehr nach Straßenseite, Gehrichtung, Alter sowie der Nutzung bzw. dem Mitführen von Gehhilfen, Kinderwägen, Mobiltelefonen und Fahrrädern erhoben. Ebenso erfasst wurden Daten des Radverkehrs- und KFZ-Aufkommens nach Fahrtrichtung, Fahrzeugklassen und Flächennutzung.

In dieser Arbeit erfolgt ausschließlich die Betrachtung des Längsverkehrs, nicht jedoch des Querverkehrs, da bzgl. der Ganglinien nicht von wesentlichen Differenzen auszugehen ist und im Längsverkehr deutlich größere Aufkommen auftreten. Zudem ist der Querverkehr an den meisten Zählstellen (je nach kleinräumiger Lage des Zählquerschnitts) auch Teil des Längsverkehrs, womit Fußgänger bei Betrachtung von Längs- und Querverkehr zum Teil doppelt berücksichtigt würden.

Da für die Ganglinien zwar unterschiedliche Personengruppen, nicht jedoch Verhaltensweisen einzelner Personen von Interesse sind, werden Daten zur Handynutzung sowie zum Schieben eines Fahrrads nicht erhoben. Weiterhin mit erhoben werden dagegen die Altersgruppen sowie die spezifische Personengruppen repräsentierenden Eigenschaften „Nutzung einer Gehhilfe“ und „Mitführen eines Kinderwagens“. Daten zum Fahrzeugverkehr werden nicht erhoben, da sich im Forschungsprojekt kein Zusammenhang zwischen KFZ-Aufkommen und Fußgängerlängsverkehr zeigte [Schüller 2016, S. 63].

4.3 Auswahl der Zählstellen

Die Auswahl der im Rahmen des genannten Projektes untersuchten Straßen erfolgte im o.g. Forschungsprojekt. Für das Zustandekommen der Auswahl wird an dieser Stelle auf den zukünftig publizierten Endbericht des Projektes verwiesen. Da nur für diese Querschnitte Videobeobachtungen vorlagen, ist die Auswahl von Zählstellen auf die im Projekt ausgewählten Straßenabschnitte beschränkt.

Aufgrund des Fokus des Projektes auf der Verkehrssicherheit sind in den ausgewählten Querschnitten Straßenabschnitte mit hoher Unfalldichte deutlich überrepräsentiert. Es ist allerdings nicht davon auszugehen, dass dies zu einer Verzerrung hinsichtlich der in dieser Arbeit zu untersuchenden Fragestellungen führt. Ausgeschlossen sind damit jedoch Wege ohne KFZ-Verkehr (z.B. in Grünanlagen), da dort i.d.R. kein auffälliges Unfallgeschehen auftritt.

Auswahl der Zählstellen für die Untersuchung der Ganglinien

Bei der Auswahl der Zählstellen wurde auf das möglichst gleichmäßige Auftreten verschiedener, für den Fußverkehr potentiell relevanter Merkmale der Untersuchungsabschnitte geachtet. Insbesondere bestand das Ziel bei der Auswahl in der

- ausreichenden Berücksichtigung aller Kategorien nach EFA (mindestens drei Querschnitte pro Kategorie), damit einhergehend auch unterschiedlicher Arten der Umfeldnutzung (Wohnstraßen, örtliche Geschäftsstraßen, etc.), der
- Berücksichtigung unterschiedlicher Umfeldfaktoren sowie der
- Sicherstellung des Vorkommens von für den Fußverkehr relevanten singulären Verkehrserzeuger (z.B. Schulen).

Zudem wurde versucht, aus allen Städten ähnlich viele Zählstellen auszuwählen.

Für die Ermittlung von verallgemeinerbaren Ganglinien, deren Verlauf nicht bzw. nur in geringem Umfang von zufälligen Ereignissen zurückzuführen ist, ist ein Mindestaufkommen an Fußgängern erforderlich. In Anlehnung an die in Zweibrücken 2005 empfohlenen mindestens 100 Fußgänger pro Stunde für die Hochrechnung von Kurzzeitzählungen sollen in dieser Arbeit vor allem Zählstellen mit mindestens 800 in dem bisher ausgewerteten 8-Stunden-Zeitraum gezählten Fußgängern einbezogen werden.

Um die o.g. Berücksichtigung aller Kategorien nach EFA zu erreichen, wurde im Verlauf der Auswahl der Zählstellen abweichend auch einige Straßenabschnitte mit geringerem Auf-

kommen aufgenommen. Vor allem für die EFA-Kategorie 3 (Wohnstraßen, offene Bebauung) standen keine Zählstellen mit entsprechend hohem Fußverkehrsaufkommen zur Verfügung. Ferner wurden auch diejenigen Zählstellen eingeschlossen, die im vorliegenden 8-Stunden-Zeitraum Minima und Maxima aufwiesen, bspw. hinsichtlich dem minimalen und maximalen Anteil an Kindern und Senioren oder dem minimalen und maximalen Anteil der Spitzenstunde.

Für die Verknüpfung des neu gezählten Fußgängeraufkommens mit den bereits vorliegenden Zählstellen ist es notwendig, nur solche Stellen auszuwählen, an denen eindeutig definiert ist, welche Fußgänger den Querschnitt passieren. Dies führt bspw. zum Ausschluss derjenigen Zählstellen, bei denen der definierte Querschnitt direkt an einem stark frequentierten Gebäudezugang oder an der Einmündung eines Nebenweges liegt. Auch werden dementsprechend Querschnitte ausgeschlossen, bei denen aufgrund von Sichtverdeckungen eine Zuordnung von Fußgängern zum Querschnitt nicht eindeutig ist.

Ausgeschlossen werden zudem die im Rahmen des BAST-Projektes mit erhobenen Zählstellen an Knotenpunkten, da dort die Definition von Längs- und Querverkehr ausschließlich auf der Vorfahrtsregelung des Fahrzeugverkehrs beruht und die Zählstellen nicht direkt analog zu den anderen Zählstellen ausgewertet werden können.

Schlussendlich wurde das Fußverkehrsaufkommen in den fehlenden Mittagsstunden (10 bis 15 Uhr)⁵ an 31 Querschnitten gezählt, bei 24 dieser Zählstellen erfolgte zudem die Zählung der Stunde von 19 bis 20 Uhr. In Summe wurden mittags und in der genannten Abendstunde rund 46.000 weitere Fußgänger gezählt, so dass die Zahl der in den Analysen dieser Arbeit berücksichtigten Fußgänger über alle 31 Querschnitte knapp 100.000 beträgt. Eine Liste der ausgewählten Zählstellen einschließlich wesentlicher Merkmale ist im Anhang 1: Zählstellen enthalten.

⁵ Zusätzlich wurden das vorhergehende und das nachfolgende 15-Minuten-Intervall (09:45 bis 10:00 Uhr sowie 15:00 bis 15:15 Uhr) mit ausgewertet, um die Qualität der Zählung durch unterschiedliche Erfasser abschätzen zu können.

4.4 Erfassung von Kindern und Senioren

Wie bereits oben beschrieben sollten im Rahmen dieser Arbeit auch die Verteilung der Fußgänger nach Altersgruppen (Kinder bis 14 Jahre, Erwachsene, Senioren) erfasst werden. Diese Erfassung erwies sich als problematisch. Zum einen erschwerte die Qualität der verwendeten Videoaufnahmen die Schätzung des Alters der Personen erheblich, da die verwendete räumliche Auflösung nicht zuletzt aus Gründen des Datenschutzes begrenzt werden musste. Zudem differierte die Aufnahmequalität zwischen verschiedenen Zählstellen und zwischen den Straßenseiten desselben Querschnitts. Ursache hierfür war neben der unterschiedlichen Aufnahmequalität auch der auf örtliche Gegebenheiten zurückzuführende, jeweils unterschiedliche Abstand von der Kamera zu dem für die Zählung ausgewählten Querschnitt.

Zum anderen ist die Einordnung einer Person in die Altersgruppen auch bei sehr guter Qualität der Videoaufnahme stark subjektiv geprägt und damit vom Erfasser abhängig. Entsprechend können die erfassten Anteile selbst bei tatsächlich gleicher Altersverteilung zwischen verschiedenen Zählstellen und Zeiträumen erheblich differieren. Insbesondere bei Personen, die bzgl. ihres Alters an der Grenze zwischen den verschiedenen Altersgruppen liegen, ist die Zuordnung oftmals willkürlich.

Damit bestätigt sich in dieser Arbeit die von Purfürst [Purfürst 2014, S. 40 ff] festgestellte Problematik der Schätzung des Alters von in Videos beobachteten Personen. Zusätzlich zu Videobeobachtungen befragte Purfürst einen Teil der in den Videos beobachteten Passanten ($n = 278$ befragte Personen). Durch den Vergleich der Zuordnung zu einer Altersgruppe aus der Videobeobachtung mit der Angabe des Alters derselben Person in der Befragung konnte die Qualität der Altersermittlung analysiert werden. Purfürst verwendete kleinere Klassen (10-Jahres-Gruppen), weshalb dort von grundsätzlich höheren Anteilen an falsch eingeschätzten Personen auszugehen ist als bei der hier verwendeten Aufteilung auf nur drei Altersklassen. Allerdings waren auch in den für die hier vorliegende Zählung relevanten, weil an den hier verwendeten Klassengrenzen liegenden Gruppen die Fehlschätzungen erheblich: Von den gemäß Befragung der Altersgruppe der 11- bis 20-jährigen zuzuordnenden Personen wurden per Videoanalyse 75 % in eine zu hohe oder zu niedrige Altersklasse eingeteilt, bei der Gruppe der Personen über 61 Jahre wurden 38% als zu jung geschätzt [Purfürst 2014, S. 42].

Dies führt zu Problemen bzgl. der für die Auswertung zur Verfügung stehenden Daten. So wurden in dem im Rahmen dieser Arbeit gezählten Zeitraum von 10 bis 15 Uhr ein deutlich

(meist mehrfach) höherer Anteil an Senioren ermittelt, als in den bereits vorliegenden Zähl-
daten für die Zeiträume von 6 bis 10 und 15 bis 19 Uhr (vgl. Abbildung 4). Infolgedessen
wurde für zwei Zählstellen mit schlechter Videoqualität von vornherein auf die separate
Erfassung der Altersgruppen verzichtet.

Zwar ist ein höherer Anteil Senioren in den Mittagsstunden plausibel, derartige Differenzen
aber nur durch methodische Unterschiede in der Erfassung erklärbar. Auch die Differenzen
zwischen den verschiedenen Zählstellen können aufgrund ihrer Größenordnung nicht auf
tatsächlich vorliegende Abweichungen in der demographischen Struktur der Fußgänger
zurückgeführt werden.

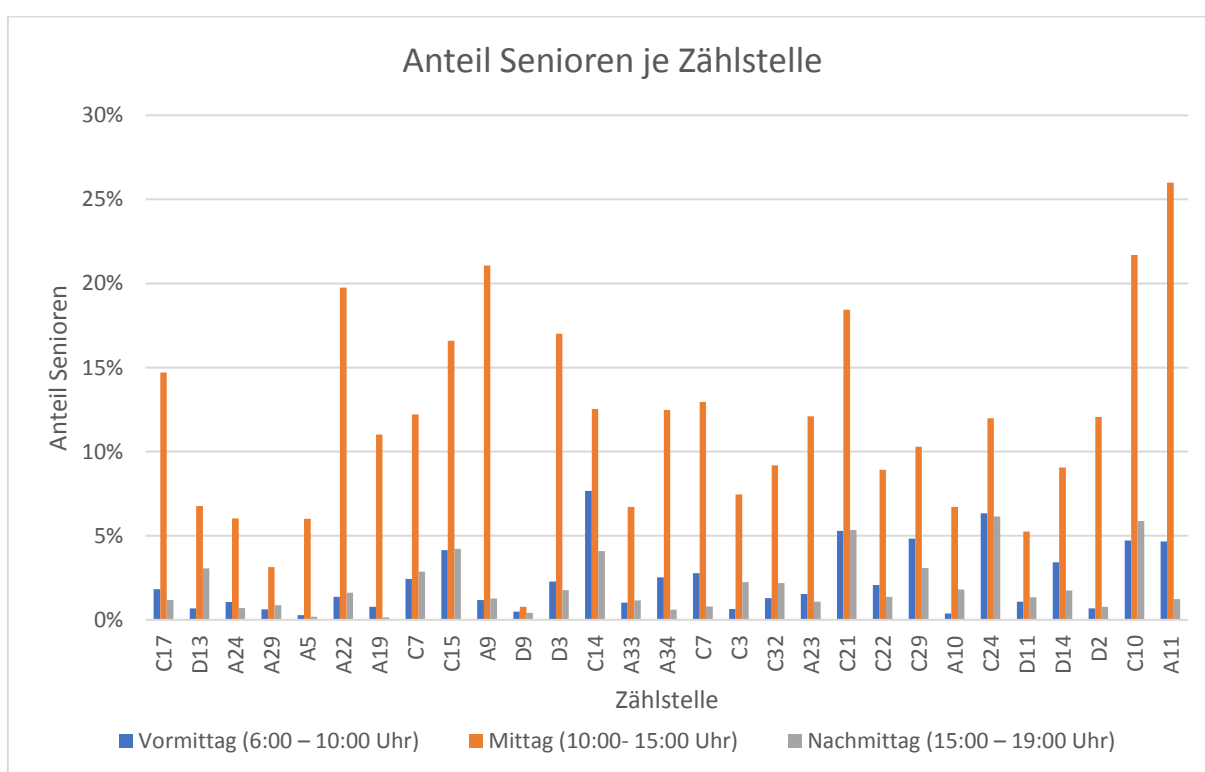


Abbildung 4 Anteil gezählter Senioren je Zählstelle; die Zählstellen sind absteigend nach dem Gesamtfußverkehrsaufkommen geordnet.

Bei den erfassten Anteilen an Kinder fallen die Unterscheide deutlich geringer aus als bei
den Senioren (vgl. Abbildung 5). Insbesondere kleine Kinder sind auch bei Videoaufnahmen
geringer Qualität als Kinder identifizierbar. Wie bereits von Purfürst festgestellt ist vor allem
die Zuordnung von Kindern ab etwa 10 Jahren bis Jugendliche von etwa 18 Jahren prob-
lematisch. Auch bei der Gruppe der Kinder ist die Zuverlässigkeit der Erhebungen verschie-
dener Erfasser nicht mit vertretbarem Aufwand ohne umfangreiche Nachzählungen verifi-
zierbar. Es ist dementsprechend auch hier unklar, ob zeitliche und örtliche Differenzen auf
demographische oder erhebungsbedingte Unterschiede zurückzuführen sind.

Ein Einbezug der Altersstruktur der Fußgänger in die Auswertung ist damit nur sehr eingeschränkt möglich. Bzgl. der Ganglinien des Tagesverkehrs sind die vorliegenden und erhobenen Daten unbrauchbar.

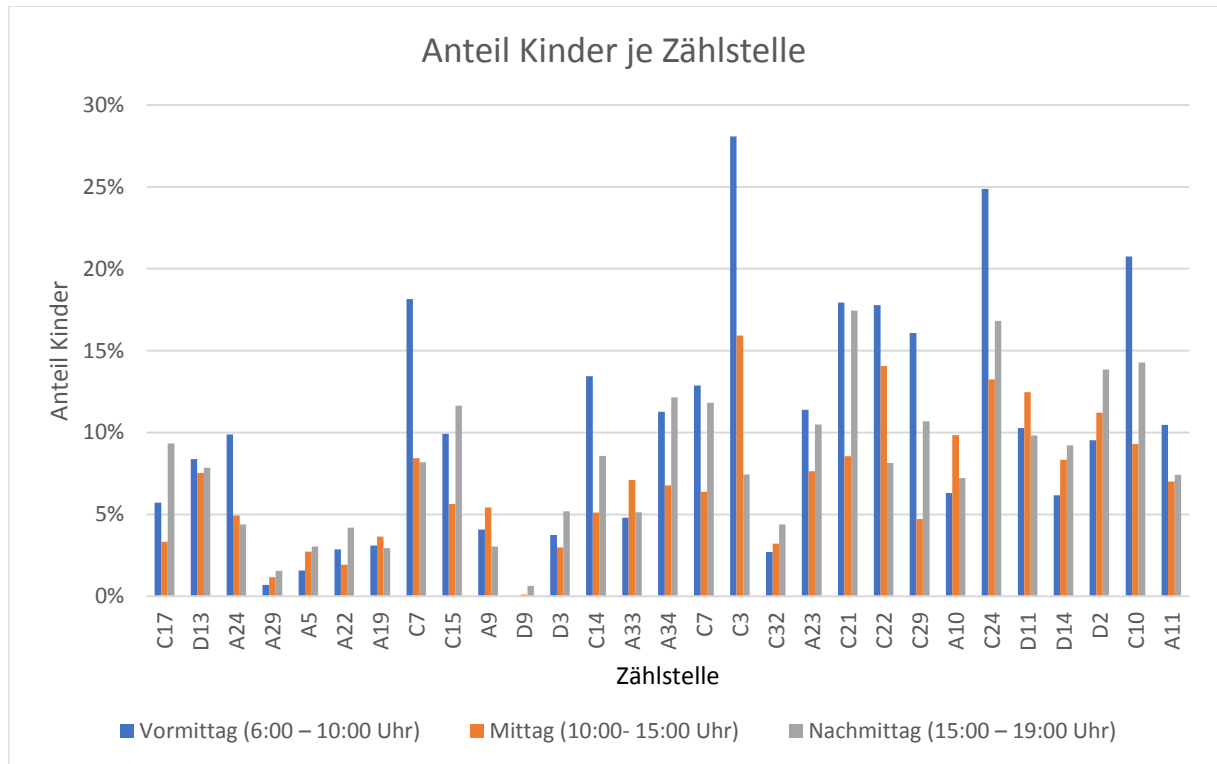


Abbildung 5 Anteil gezählter Kinder je Zählstelle; die Zählstellen sind absteigend nach dem Gesamtfußverkehrsaufkommen geordnet.

4.5 Besonderheiten einzelner Zählstellen

Zählstellen A9 und A10

An der Zählstellen A9 und A10 passierten gegen Mittag zwei Schulklassen einschließlich Betreuer die Querschnitte, insgesamt bestehend aus 48 Kindern und 4 Erwachsenen. Dies führt am Querschnitt A10 aufgrund des dort ansonsten geringen Fußverkehrsaufkommens in der Straße zu einer deutlichen Verzerrung der Ganglinie (vgl. Abbildung 6). Am Querschnitt A9 ist der Effekt infolge des insgesamt höheren Verkehrsaufkommens weniger stark ausgeprägt, aber ebenso sichtbar. An anderen Zählstellen traten derart stark die Ganglinien beeinflussende Ereignisse, die nicht auf regelmäßige Tagesabläufe zurückzuführen sind, nicht auf.

Bei diesen Klassen ist von einem singulären Ereignis auszugehen, das nur an diesem Erhebungstag, nicht aber an anderen Tagen derselben Woche oder demselben Wochentag anderer Wochen regelmäßig auftritt. Da im Rahmen dieser Arbeit repräsentative Ganglinien ermittelt und untersucht werden sollen, werden die genannten Schulklassen einschließlich ihrer Betreuer für die Auswertungen aus den Zähldaten entfernt. Die Möglichkeit, dass es sich um regelmäßige Wege der Klassen (bspw. auf dem Weg zu einem von der Schule getrennten Sportplatz) handelt, kann aufgrund der Lage von Zählstelle und nächstgelegenen Schulen ausgeschlossen werden.

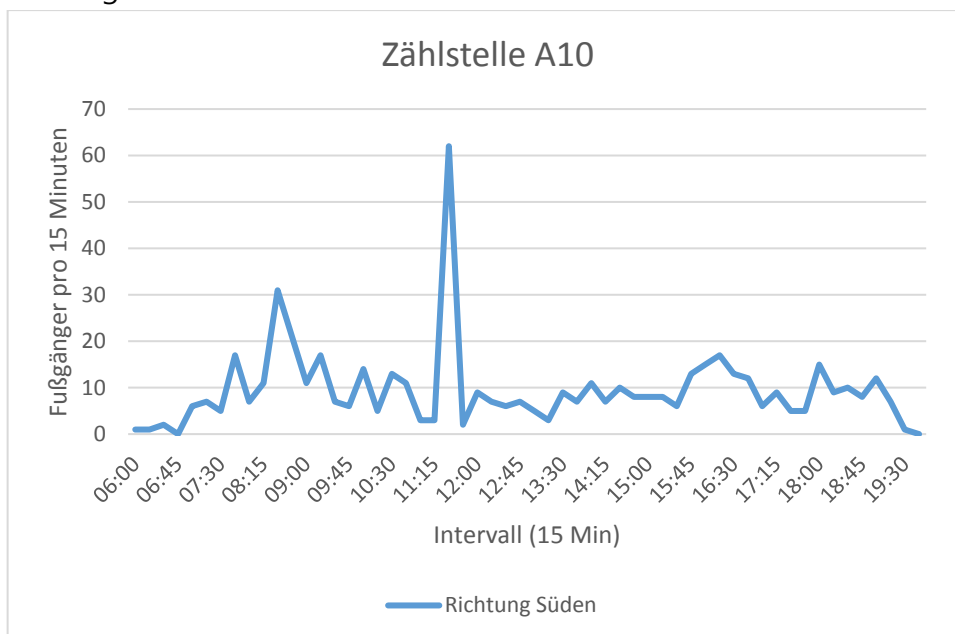


Abbildung 6 Fußgänger pro 15-Minuten-Intervall an der Zählstelle A10, Gehrichtung Süd

Zählstelle D9

Die Charakteristika der Zählstelle D9 unterscheiden sich durch die Lage in einem Gewerbegebiet mit einer hohen Dichte an Büronutzungen deutlich von den anderen berücksichtigten Zählstellen. Daraus resultiert eine Ganglinie, die drastisch von den anderen erhobenen Ganglinien abweicht. Dieser untypische Verlauf – geringes, gleichmäßiges Verkehrsaufkommen am Vor- und Nachmittag mit einer sehr stark ausgeprägten Spitze mittags (vgl. auch Abschnitt 5.5.3 sowie die dortige Abbildung 20) – führt bei Mittelwertbildung mit anderen Zählstellen zu einem unverhältnismäßig starken Einfluss dieser einen Zählstelle. Dies erschwert die Beschreibung typischer Ganglinienmuster an anderen Stellen stark. Exemplarisch sind dazu in Abbildung 7 die gemittelten Aufkommen der gleitenden Stunden aller Zählstellen in der Stadt D mit und ohne die Zählstelle D9 dargestellt. Die bei der Berücksichtigung aller Zählstellen entstehende sehr starke Ausprägung der Spitze am Mittag ist dabei vor allem auf diese eine Zählstelle zurückzuführen.

Deshalb wird bei den im Folgenden durchgeführten Analysen auf den Einbezug der Zählstelle D9 bei der Mittelung von Zählstellen verzichtet. Zu beachten ist allerdings, dass auch diese Zählstelle einen relevanten Teil des Fußverkehrsaufkommens repräsentiert.

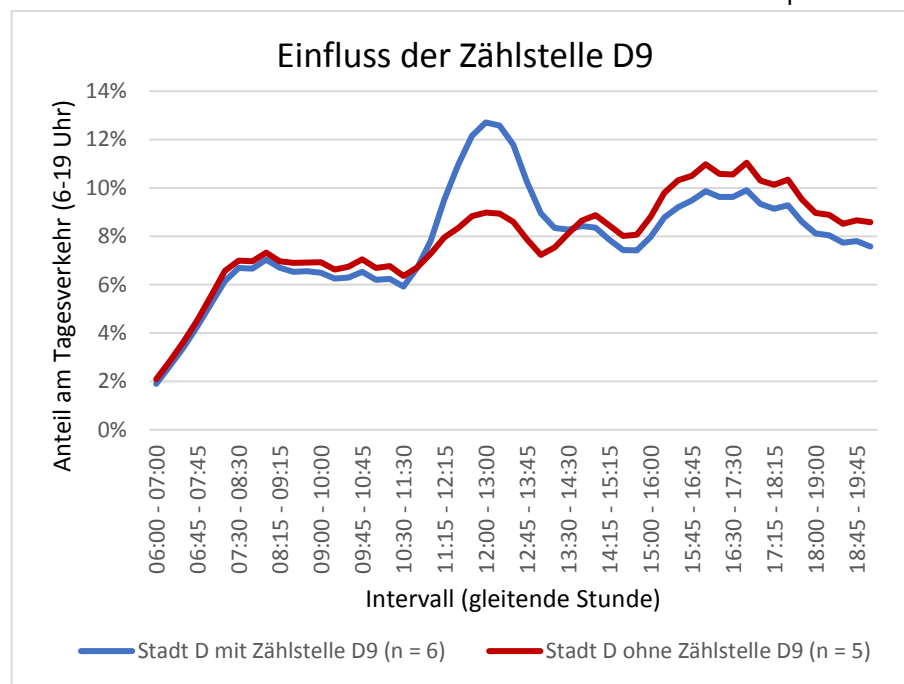


Abbildung 7 Einfluss der Zählstelle D9: gemittelter Anteil der Stunden am Tagesverkehr in der Stadt D mit und ohne die Zählstelle

5 ERGEBNISSE

5.1 Beschreibung der Stichprobe

Die Videobeobachtungen wurden in vier Städten durchgeführt, wobei nur in drei Städten für die Ermittlung von Ganglinien ausreichend lange Videoaufnahmen vorlagen. Dabei handelt es sich um eine Stadt mit mehr als einer Million Einwohner (Stadt A) sowie zwei Städten mit über 500.000 Einwohnern (Städte C und D). Es wurde versucht, aus allen Städten ähnlich viele Zählstellen auszuwählen, was allerdings aufgrund der oben beschriebenen Kriterien für die Auswahl nur bedingt gelang. Von den 31 ausgewählten und in die Auswertung einbezogenen Zählstellen liegen 13 in Stadt A sowie 12 und 6 in den Städten C und D. Die Zählstellen wurden bereits im Forschungsprojekt innerhalb der Städte durchnummeriert (z.B. Querschnitt A1, A2 usw.).

Aufgrund der Vorgaben für das zugrundeliegende Forschungsprojekt befinden sich alle Zählstellen in angebauten Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Zu beachten ist dabei, dass die Einteilung des Straßennetzes in Haupt- und Nebenstraßen primär aus Sicht des KFZ-Verkehrs erfolgt, die Aussagekraft der Einteilung bzgl. der Bedeutung der Straßen für den Fußverkehr ist gering.

Das Fußverkehrsaufkommen an den Zählquerschnitten reicht von 20 bis knapp 700 Fußgänger pro Stunde (zur Verteilung der Fußverkehrsaufkommen an den Zählstellen vgl. Abbildung 8).

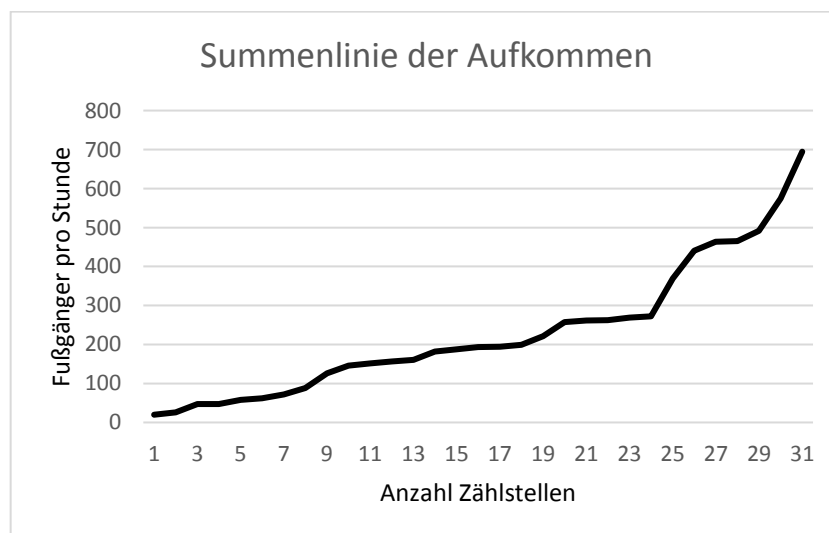


Abbildung 8 Summenlinie der Fußverkehrsaufkommen an den Zählstellen (Mittelwert 6 bis 19 Uhr)

5.2 Ganglinien nach EFA-Kategorien

In den Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA 2002) werden Straßen nach Art und Maß der Bebauung in verschiedene Kategorien eingeteilt [EFA 2002, Tabelle 2]. Aufgrund ihrer fußverkehrsspezifischen Ausrichtung ist hierbei mit einer höheren Relevanz für diese Arbeit auszugehen als bei den in der Verkehrsplanung häufiger angewandten Kategorien der Richtlinie zur Anlage von Stadtstraßen (RASt 06). Auf eine Analyse unter Berücksichtigung der Entwurfssituationen nach RASt 06 wird aufgrund deren Orientierung primär an der Bedeutung einer Straße für den KFZ-Verkehr verzichtet.

EFA-Kategorie 3 (Wohnstraße, offene Bebauung)

Infolge des dort durchgängig geringen Fußverkehrsaufkommens schwanken die Stundenanteile in Wohnstraßen stark, da auch schwach ausgeprägte Einzelereignisse (bspw. Personengruppen) relevante Auswirkungen auf die Ganglinien haben. Erkennbar ist allerdings eine von etwa 7:00 bis etwa 10:30 Uhr dauernde Morgenspitze, auf die ein Tief am späten Vormittag folgt. Nachmittags steigt an allen Zählstellen das Verkehrsaufkommen nochmals deutlich an und fällt bei den meisten Querschnitten bereits am frühen Abend (ab ca. 17 Uhr) wieder ab.

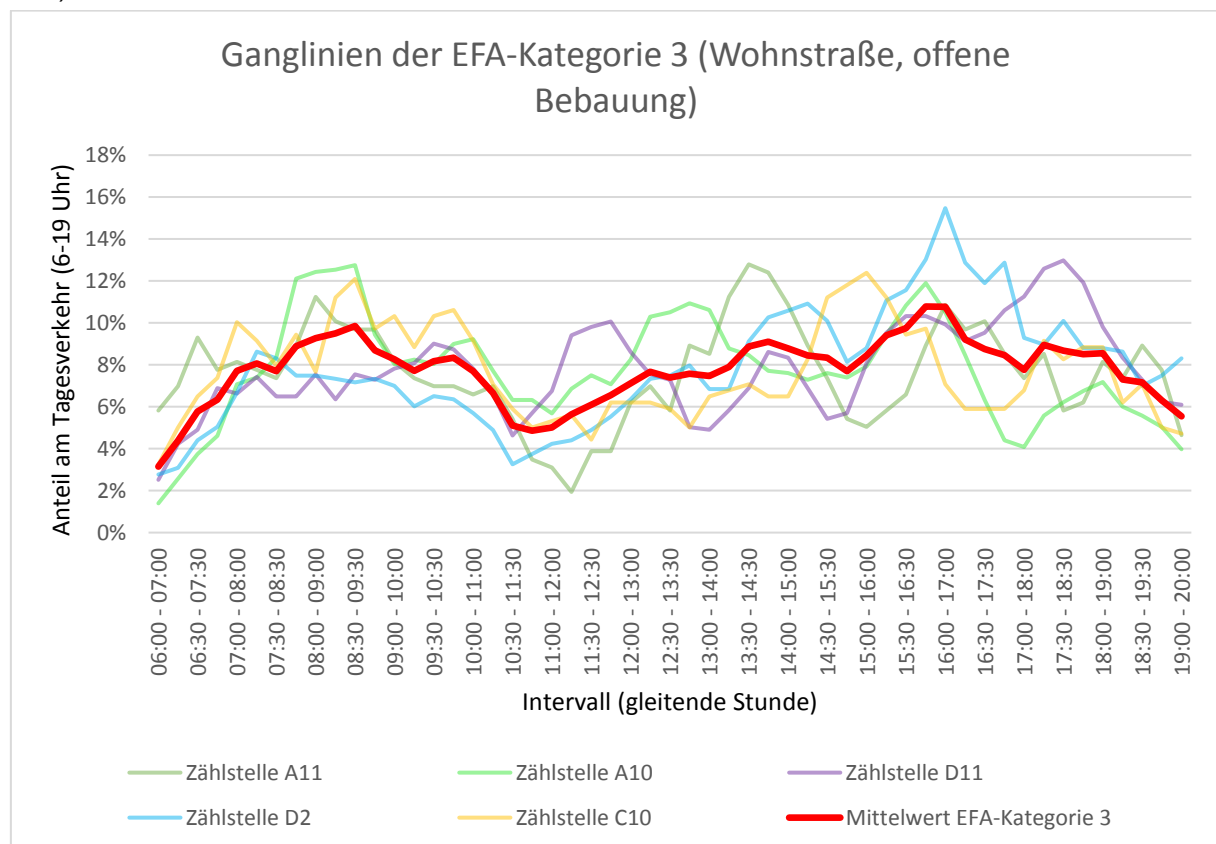


Abbildung 9 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 3 (Wohnstraße, offene Bebauung).

EFA-Kategorie 4 (geschlossene Bebauung, geringe Dichte)

Bei allen der EFA-Kategorie 4 zuzuordnenden Zählstellen zeigt sich morgens ein kontinuierlicher Anstieg bis etwa 10 Uhr. An allen Zählstellen wird das höchste Aufkommen am späten Nachmittag erreicht (vgl. Abbildung 31 im Anhang 8.2). Zwischen 10 und 15 Uhr ist das Aufkommen in etwa konstant. Einzig an der Zählstelle A19 kommt es zu einem leichten weiteren Anstieg, an der Zählstelle A9 dagegen zu einem Rückgang gegenüber der vormittäglichen Spitze.

EFA-Kategorie 5 (Geschlossene Bebauung, mittlere Dichte)

Bei allen Zählstellen dieser Kategorie existiert eine – allerdings unterschiedlich stark ausgeprägte – Morgenspitze mit einem darauffolgenden Plateau bis zum Nachmittag. Ab ca. 15 Uhr steigt das Aufkommen an allen Zählstellen an.

Die starke Spitze gegen 13:30 Uhr an einer Zählstelle ist überwiegend auf den Schülerverkehr eines nahegelegenen Gymnasiums zurückzuführen.

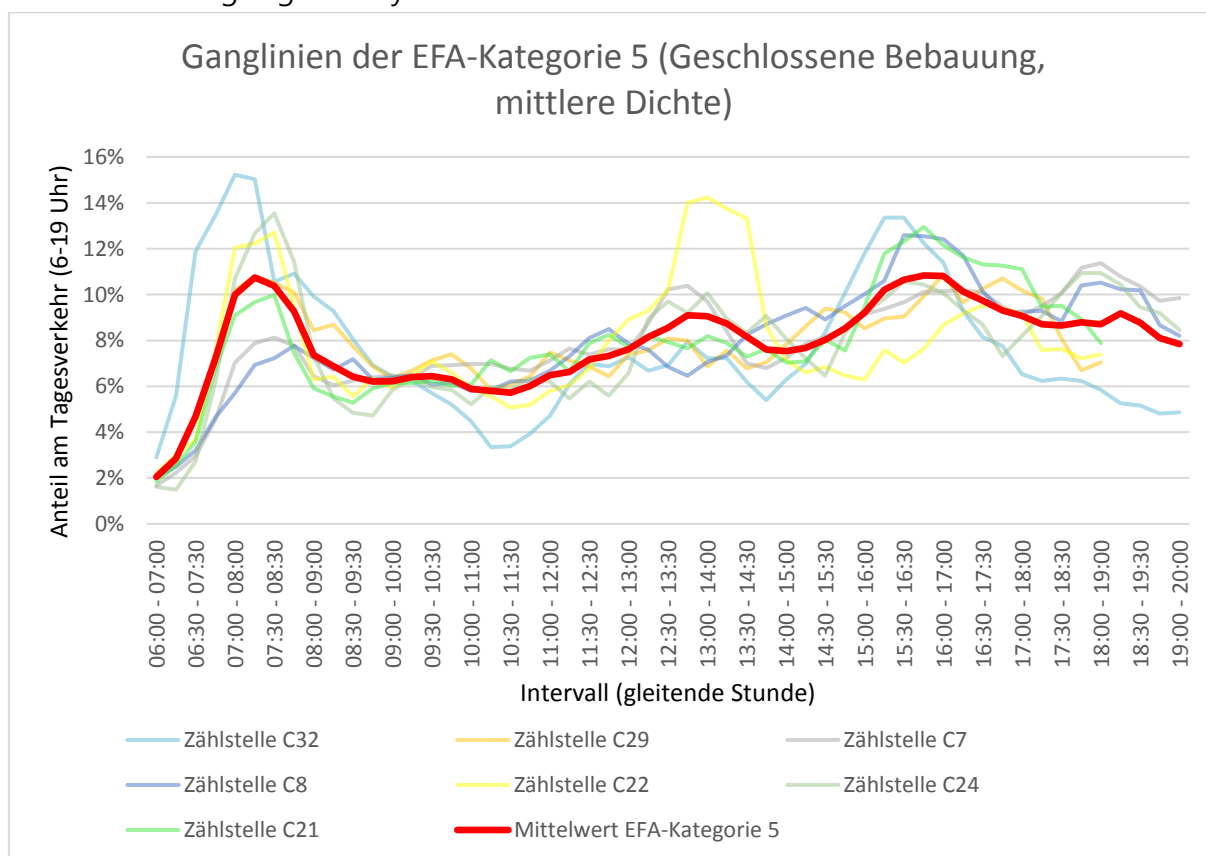


Abbildung 10 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 5 (Geschlossene Bebauung, mittlere Dichte).

EFA-Kategorie 7 (Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung, hohe Dichte)

In Straßen mit gemischter Wohn- und Geschäftsnutzung in hoher Dichte steigt das Fußverkehrsaufkommen über den Tag tendenziell an, wobei bei einigen Zählstellen unterschiedlich stark ausgeprägte Spitzen, v.a. mittags (vgl. Abschnitt 5.5.3 Mittagsspitze), auftreten. Morgenspitzen sind, sofern vorhanden, nur schwach ausgebildet.

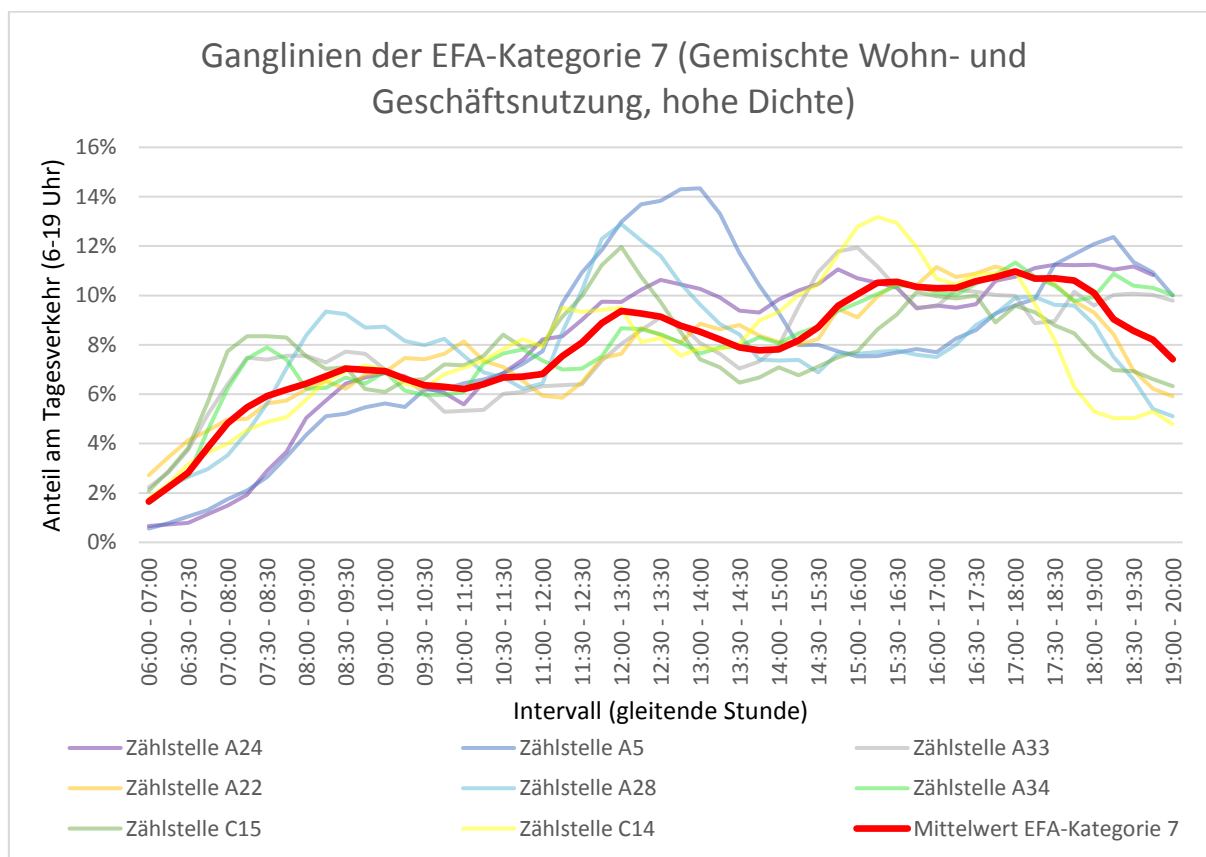


Abbildung 11 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 7 (Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung, hohe Dichte).

EFA-Kategorie 9 (Geschäftsstraße)

Mit drei Zählquerschnitten ist diese Kategorie nur gering besetzt, alle drei Zählstellen liegen innerhalb von Innenstädten oder deren Randbereichen.

Bei zwei Zählstellen mit dominierendem Einkaufsverkehr steigt das Verkehrsaufkommen bis zum Mittag an, am späten Nachmittag werden bei beiden Stellen nochmals höhere Frequenzen erreicht. Bei einer dieser Zählstellen liegt die Spitzenstunde des Erhebungszeitraumes sogar erst nach 18:30 Uhr (vgl. Abbildung 33 im Anhang 8.2).

Bei der dritten Zählstelle handelt es sich um einen Querschnitt mit einem hohen Anteil an Büronutzung sowie einer Arbeitsagentur in der Umgebung. Die Folge ist ein hohes Verkehrsaufkommen bereits am Morgen, nach 13:30 Uhr wurden deutlich weniger Fußgänger registriert. Letzteres ist vermutlich auf das Schließen des Jobcenters um 12:30 Uhr in Kombination mit dem Ende der Mittagspause der umliegenden Büroangestellten zurückzuführen. Ähnlich anderen Standorten mit überwiegender Büronutzung waren auch an dieser Stelle um die Mittagszeit zahlreiche Fußgänger in kleineren Gruppen unterwegs. Nachmittags nimmt das Verkehrsaufkommen an der Zählstelle kontinuierlich ab.

Vergleich der Ganglinien der EFA-Kategorien

In Abbildung 12 sind die relativen Ganglinien aller EFA-Kategorien sowie die Ganglinie über alle Zählstellen dargestellt. Die Ganglinien der absoluten Aufkommen sind im Anhang 8.2 dargestellt.

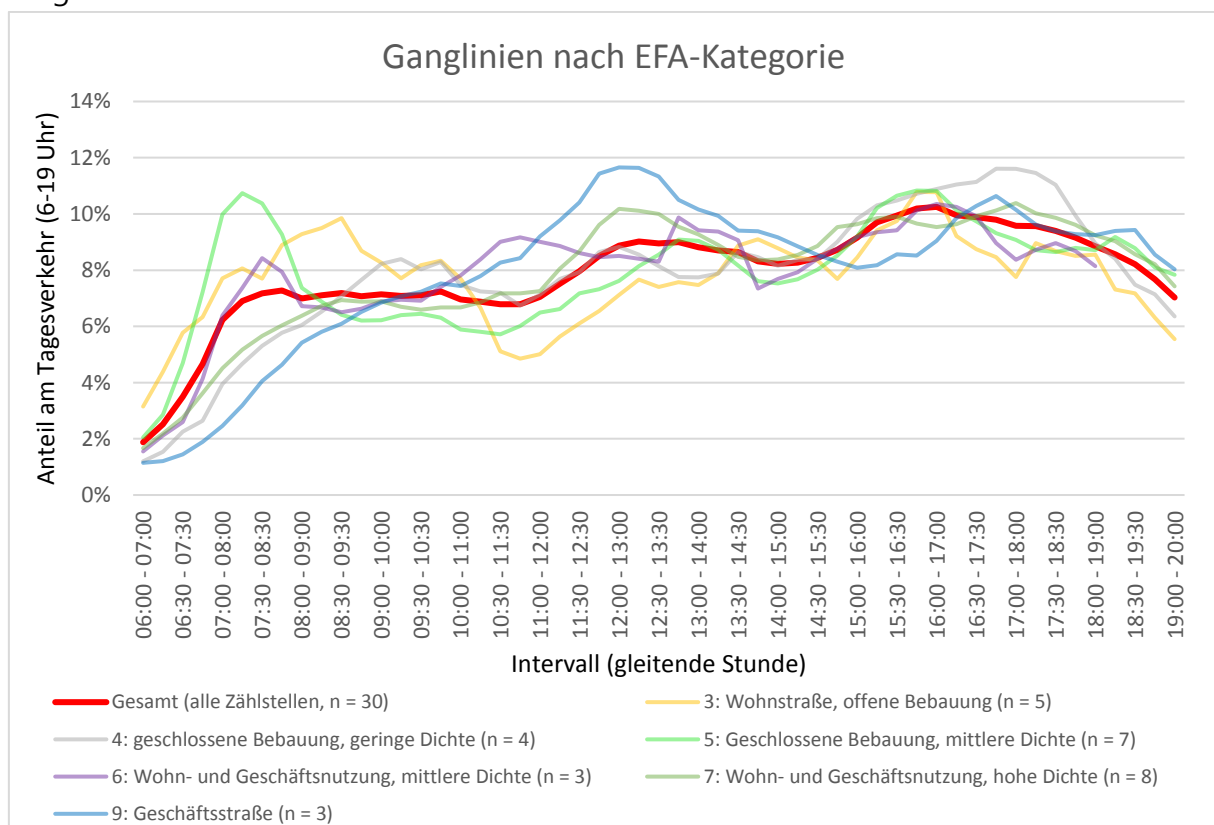


Abbildung 12 Ganglinien nach EFA-Kategorie, relativ; die absoluten Aufkommen sind im Anhang 8.2 dargestellt.

Vormittags sowie ab dem frühen Nachmittag verlaufen die Ganglinien ähnlich, unabhängig von der EFA-Kategorie steigt das Fußverkehrsaufkommen am späten Nachmittag nochmals an und fällt ab etwa 18:00 Uhr ab. Deutliche Unterschiede gibt es vor allem morgens sowie mittags: Morgens bilden sich bei der Kategorie 5 sowie bei Wohnstraßen (Kategorie 3)

deutliche Spitzen heraus, mittags bei den Geschäftsstraßen (Kategorie 9) sowie in Straßen mit einer hohen Dichte an Wohn- und Geschäftsnutzung (Kategorie 7).

Innerhalb der einzelnen EFA-Kategorien verlaufen die Ganglinien verschiedener Zählquerschnitte häufig ähnlich, allerdings mit einigen Überschneidungen zwischen den EFA-Kategorien. Diese Überschneidungen sind u.a. auch auf die fehlende Trennschärfe zwischen den EFA-Kategorien sowie auf die Überlagerung verschiedener Umfeldnutzungen in den Straßenräumen zurückzuführen.

Zusammengefasst zeigt sich bzgl. der Kategorisierung gemäß EFA, dass die Ganglinien der verschiedenen Kategorien

- morgens die größten Unterschiede aufweisen,
- nach einem ähnlichen Verlauf vormittags in den Mittagsstunden nochmals Differenzen auftreten und
- ab ca. 14 Uhr überwiegend ähnlich verlaufen.

5.3 Ganglinien nach Umfeldfaktor

Der Umfeldfaktor (zur Definition vgl. Abschnitt 3.3.2) schwankt an den Untersuchungsabschnitten zwischen einem Minimum von 0,98 und dem maximal möglichen Wert 3,0. Zur Auswertung werden vier Klassen mit einer Spannweite von jeweils 0,5 gebildet (bis 1,5; 1,5-2,0 usw.) und die Aufkommen innerhalb der Klassen gemittelt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 13 (relative Aufkommen) sowie Abbildung 36 im Anhang 8.2 (absolute Aufkommen) dargestellt.

Der Verlauf der relativen Ganglinien in den drei unteren Klassen ist ähnlich. Abweichungen gibt es vor allem bei der Klasse mit dem höchsten Umfeldfaktor ($> 2,5$). Hier fehlt – im Gegensatz zu den drei anderen Klassen – die Morgenspitze, stattdessen steigt das Aufkommen bis mittags kontinuierlich an. Ab dem Mittag bleibt das Verkehrsaufkommen in dieser Klasse vergleichsweise konstant und geht abends schwächer zurück. Dies entspricht angesichts der bei hohem Umfeldfaktor vorherrschenden dichten Bebauung mit Geschäftsbesatz, oftmals in Verbindung mit Restaurants, dem zu Erwartendem. Unabhängig vom Umfeldfaktor ist das Fußverkehrsaufkommen nachmittags tendenziell am höchsten.

Der schwächere Anstieg morgens in der Gruppe mit dem höchsten Umfeldfaktor ist nur hinsichtlich der Anteile am Tagesverkehrs vorhanden, nicht jedoch bzgl. der absoluten Aufkommen. Das Aufkommen in den gleitenden Stunden ist in dieser Gruppe bereits in den Morgenstunden mit am höchsten, nimmt dann jedoch – anders als bei geringerem Umfeldfaktor – im Laufe des Tages weiter zu (vgl. Abbildung 36 im Anhang).

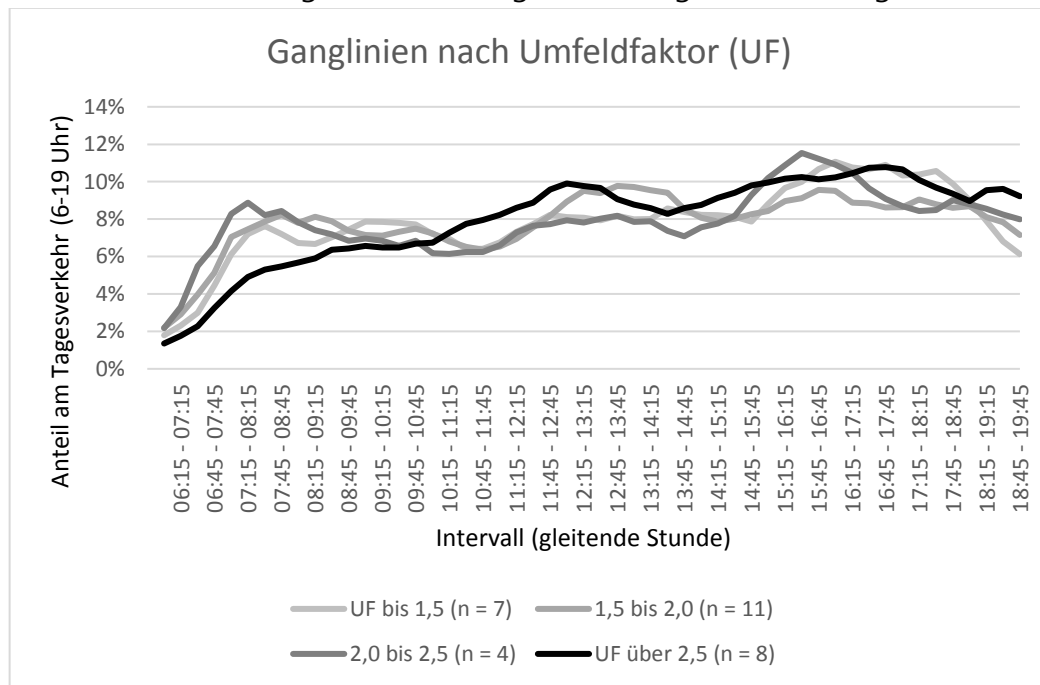


Abbildung 13 Ganglinien nach Umfeldfaktor, relativ; die absoluten Aufkommen sind in Abbildung 36 im Anhang 8.2 dargestellt.

Problematisch bzgl. des Umfeldfaktors ist neben der bereits im Abschnitt 3.3.2 diskutierten fehlenden Berücksichtigung der Bebauungshöhen auch die Verzerrung durch unbebaute, aber trotzdem für den Fußverkehr relevante Flächen, z.B. Parks oder Veranstaltungsgelände. So liegt bspw. die Zählstelle mit dem geringsten Umfeldfaktor (Zählstelle C3, UF = 0,98) in dicht bebautem Gebiet in Innenstadtnähe, hat allerdings aufgrund einer einseitig einnehmenden Straßenseite vollständig einnehmenden Parks nur einen geringen Umfeldfaktor. Grünanlagen und anderen Freiflächen kann jedoch nicht pauschal ein Gewicht für die Berechnung des Umfeldfaktors zugesprochen werden: Neben der Art der Fläche hat auch die Lage innerhalb der Stadt großen Einfluss auf die Erzeugung von Verkehrsaufkommen durch derartige Anlagen (bspw. größerer Effekt innerstädtischer Parkanlagen gegenüber gleichartigen Anlagen am Stadtrand).

5.4 Ganglinien nach Lage

Im Folgenden werden die erhobenen Ganglinien nach Lage innerhalb der Städte ausgewertet. Dazu wird für jeden Zählquerschnitt sowohl die Luftlinienentfernung zum Stadtzentrum (je nach Stadt Altstadt oder Hauptbahnhof) in km wie auch die Lage bzgl. der Siedlungsstruktur (Innenstadt, Vorstadt, Stadtrand, vgl. Abbildung 14) erhoben. Die Luftlinienentfernung ist objektiv feststellbar, die Einordnung bzgl. der Siedlungsstruktur dagegen auch subjektiv beeinflusst.

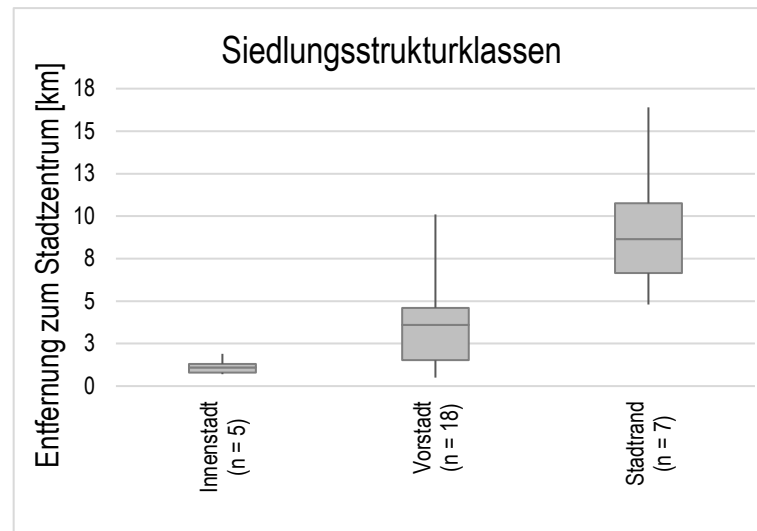


Abbildung 14 Entfernungen der Zählstellen zum Zentrum nach Siedlungsstruktur; die Boxen enthalten 50 % der Zählstellen

5.4.1 Ganglinien nach Siedlungsstruktur

Das Ergebnis bei Klassierung der Zählstellen nach Siedlungsstruktur ist in Abbildung 15 dargestellt. Wie zu erwarten liegt an innerstädtischen Querschnitten das höchste Fußgängeraufkommen vor. Das durchschnittliche Aufkommen pro Stunde ist an den Zählstellen in den Klassen Vorstadt und Stadtrand von etwa 8 bis etwa 17:30 Uhr ähnlich. Dies widerspricht der naheliegenden Annahme, dass die in Stadtrandgebieten meist geringere Dichte der Bebauung auch geringere Fußverkehrsaufkommen zur Folge haben und ist im Wesentlichen auf die Auswahl der Zählstellen zurückzuführen.

Der Anstieg des Verkehrsaufkommens morgens beginnt in der Innenstadt später als am Stadtrand oder in Vorstädten. In Vorstädten bildet sich eine deutliche Morgenspitze, während an Stadtrandlagen ein kontinuierlicher Anstieg bis etwa 10 Uhr auftritt.

Bei innenstadtnahen Zählstellen zeigt sich die oben beschriebene, vermutlich auf Mittagspausen zurückzuführende Mittagsspitze, dort tritt nach einem kurzen Rückgang am Nachmittag gehen Abend eine erneute Spitze auf. Bei Zählstellen am Stadtrand fällt das Verkehrsaufkommen am Abend deutlich früher ab als bei den zentrumsnäheren Zählstellen.

Die Spitzenstunden liegen bei zentrumnahen Querschnitten mittags, in Vorstädten sowie Stadtrandgebieten am Nachmittag.

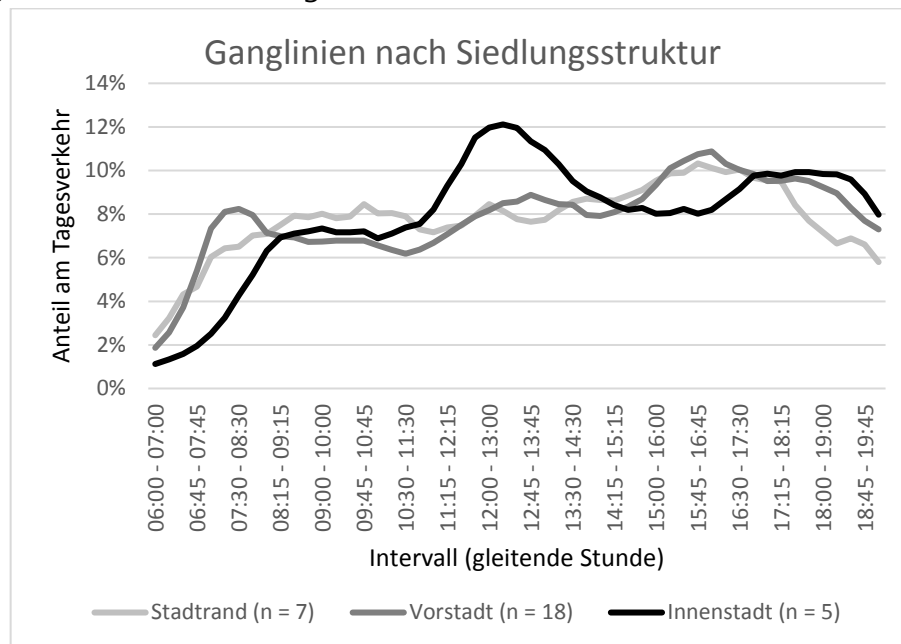


Abbildung 15 Ganglinien nach Siedlungsstruktur; gemittelter Anteil der Stunden am Tagesverkehr

5.4.2 Ganglinien nach Entfernung zum Zentrum

Problematisch ist die Klassierung nach Entfernung zum Stadtzentrum aufgrund der unterschiedlichen Größe der Städte: So kann eine Zählstelle mit einem bestimmten Abstand zum Zentrum in einer Stadt noch in einer dicht bebauten Vorstadt liegen, in einer anderen Stadt bereits am Stadtrand. Deshalb wurde auch die Entfernung zum Stadtzentrum in Kilometern ermittelt.

Für die Entfernung zum Zentrum wurden drei Klassen gebildet (bis 3,0 km mit $n = 12$ Zählstellen; 3,0 bis 6,0 km mit $n = 8$; über 6,0 km mit $n = 10$). Zu beachten ist dabei, dass die Beziehung von Siedlungsstruktur und Entfernung zum Zentrum von der Größe der Stadt abhängig ist. So sind vor allem in der Stadt A (mit über einer Million Einwohner) Zählstellen als „Vorstadt“ klassifiziert, die eine Entfernung zum Stadtzentrum aufweisen, die in den anderen beiden Städten eine Zuordnung zum Stadtrand zur Folge hätte. Die Spannweiten der Klassen sind in Abbildung 16 dargestellt.

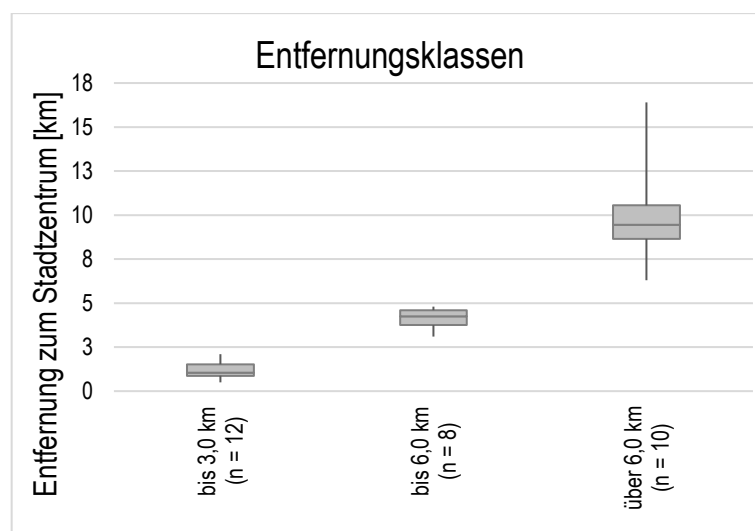


Abbildung 16 Entfernungen der Zählstellen zum Zentrum; die Boxen enthalten 50 % der Zählstellen

Im Ergebnis (vgl. Abbildung 17) zeigt sich ein ähnliches Bild wie bereits bei der Unterteilung nach Siedlungsstruktur, allerdings sind diese Effekte teilweise weniger stark ausgeprägt. Morgens kommt es in Zentrumsnähe zu einem späteren Anstieg des Verkehrsaufkommens, die Differenz zu den anderen Zählstellen ist jedoch geringer als bei der Betrachtung nach Siedlungsstruktur. Bei Zählstellen mit einer Entfernung von 3 bis 6 km zum Stadtzentrum bildet sich wiederum eine deutliche Morgenspitze. Im Unterschied zur Auswertung nach Siedlungsstruktur ist allerdings auch bei zentrumsnahen Zählstellen eine leichte Morgenspitze erkennbar. Die Mittagsspitze in zentrumsnahen Querschnitten ist weiterhin vorhanden, fällt aber schwächer aus und ist leicht nach hinten verschoben.

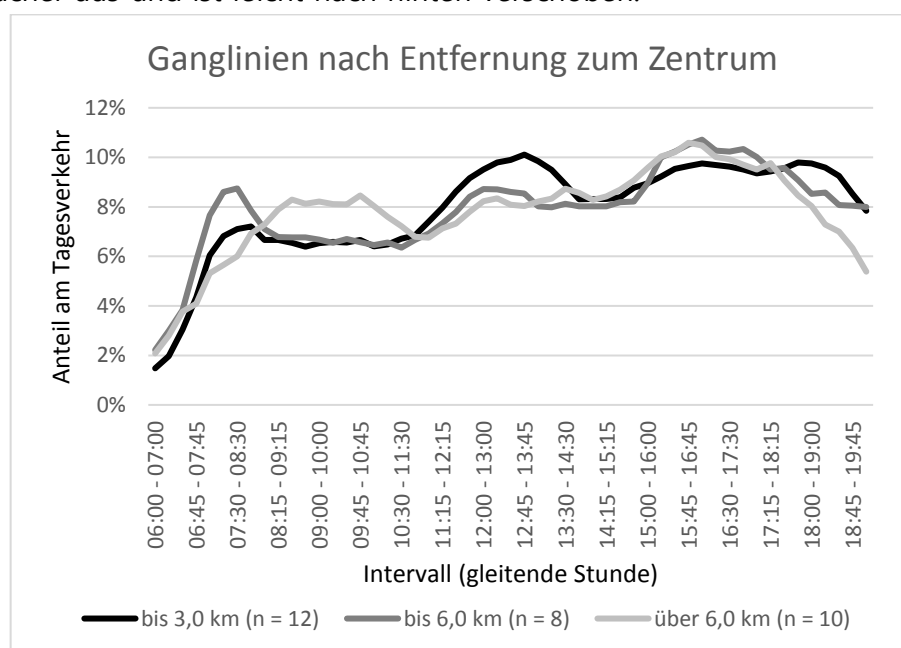


Abbildung 17 Ganglinien nach Entfernung zum Zentrum in km; gemittelter Anteil der Stunden am Tagesverkehr

Auffällig ist, dass nun nicht mehr die Innenstadtlage diejenige Klasse mit dem höchsten Anteil der Spitzenstunde ist, sondern Zählstellen mit größeren Entfernung zum Zentrum.

Zudem liegt das durchschnittliche absolute Fußverkehrsaufkommen pro Stunde bei Stellen mit einer Entfernung von über 6 km zum Zentrum tagsüber höher als bei Stellen mit einer Entfernung zwischen 4 und 6 km. Primär ist dies auf eine einzelne, stark frequentierte Zählstelle in einem Stadtteilzentrum einer Großwohnsiedlung am Stadtrand von Stadt A zurückzuführen, ohne diese Zählstelle gleichen sich die Verkehrsaufkommen an.

Nichtdestotrotz erweisen sich damit Zählstellen in einer Entfernung von über 6 km zum Stadtzentrum als ähnlich stark frequentiert wie Zählstellen mit einer Entfernung zwischen 3 und 6 km, obwohl die Bebauungs-, Bevölkerungs- und Nutzungsdichte Richtung Stadtzentrum zunimmt. Dies bestätigt, dass die mikroskopische Lage der Zählstelle sowie die Funktion der entsprechenden Straße mindestens für das absolute Fußverkehrsaufkommen wichtiger sind als die makroskopische Lage innerhalb der Stadt.

Als Verknüpfung der beiden Kriterien Siedlungsstruktur und Entfernung zum Stadtzentrum kann das Kriterium „Abstand der Zählstelle zu Stadtzentrum im Verhältnis zur Stadtgröße“ dienen. Die Stadtgröße wird in diesem Fall als maximale Entfernung einer Zählstelle zum Zentrum definiert. Damit wird das Problem umgangen, dass einerseits der Stadtrand unterschiedlich weit vom Zentrum entfernt sein kann, andererseits die Grenze einer Stadt nicht eindeutig definiert (z.B. bzgl. der Grenze der Bebauung) oder für die für das Verkehrsverhalten relevante Siedlungsstruktur nur bedingt aussagekräftig ist (z.B. Grenze der Verwaltungseinheit).

Obige Auswertungen wurden auch für das letztgenannte makroskopische Lagekriterium durchgeführt, wobei wiederum drei Klassen mit dem Ziel ähnlicher Klassengröße gebildet wurden (bis 25% der maximalen Entfernung ($n = 11$), bis 60 % ($n = 10$), über 60 % ($n = 9$)). Die Ergebnisse entsprechen weitgehend den bereits dargestellten. Einzig wesentliche Änderung ist ein Abflachen der Frühspitze bei der Klasse der Zählstellen mit mittlerer Entfernung (für die zugehörige Abbildung vgl. Anhang 8.2).

5.5 Weitere Einflüsse

5.5.1 Kurzfristiger Einfluss von Niederschlag

Wie bereits im Abschnitt 3.5.2 erläutert, wird dem Wetter ein relevanter Einfluss auf das Fußverkehrsaufkommen zugesprochen. Da im Rahmen dieser Arbeit pro Zählstelle nur Daten für je einen Tag vorliegen, ist eine Ableitung von Wettereinflüssen hier nicht möglich. An allen Zähltagen herrschte in den einbezogenen Städten fast durchgehend sonniges oder leicht bewölktetes Wetter ohne Niederschlag vor. Insofern ist zumindest nicht von einer relevanten wetterbedingten Reduktion des Fußverkehrsaufkommens bei der Erhebung auszugehen.

In einem Teil der Stadt A ging an einem Zähltag gegen Mittag ein kurzer, sehr starker Regen nieder, von dem vier nahe beieinanderliegende Zählstellen, zeitlich leicht versetzt sowie mit unterschiedlicher Dauer und Intensität, betroffen waren. Dies ermöglicht eine exemplarische Untersuchung des Einflusses kurzfristiger, starker Wetterereignisse. Da die bisher vorliegenden 15-Minuten-Intervalle für die Abbildung derart kurzfristiger Veränderungen im Verkehrsaufkommen nicht ausreichen, wurden für die genannten vier Zählstellen zusätzlich die Zahl der Fußgänger sowie die Stärke des Niederschlages in 5-Minuten-Intervallen erhoben. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 18 dargestellt.

Bei den zwei Querschnitten mit verhältnismäßig langandauerndem, starkem Regen ist deutlich ein Rückgang des Verkehrsaufkommens für die Dauer des stärksten Niederschlages feststellbar. Bei der Zählstelle A9 steigt die Zahl der Fußgänger direkt nach Ende des stärksten Regens – aber noch deutlich vor dem endgültigen Ende des Niederschlags – kurzfristig an. Offensichtlich warten viele Personen den stärksten Regen an geeigneten Stellen ab, akzeptieren aber schwächere Niederschläge. Bei der weiter südlich gelegenen Zählstelle A10 dauert der Anstieg dagegen nach Ende des Regens deutlich länger.

Die unterschiedliche Entwicklung des Aufkommens nach Ende des stärksten Regens ist für diese beiden Stellen auch aus dem Umfeld erklärbar. So befinden sich rund um die Zählstelle A9 mehrere Einzelhandelseinrichtungen, während die Umgebung der Zählstelle A10 von Wohnbebauung dominiert und die nächstgelegenen anderen Quellen und Ziele weiter entfernt sind. Das Verlassen bspw. einer Einzelhandelseinrichtung nach Ende des stärksten Regens führt an dieser Zählstelle dementsprechend erst deutlich zeitversetzt zu einem Anstieg. Dem gegenüber ist bei Personen, die sich bei Regen in ihrer Wohnung aufhalten,

eher vom Abwarten des endgültigen Endes des Niederschlages auszugehen, zumal Wohnnutzung weniger gebündelte Verkehrsströme hervorruft.

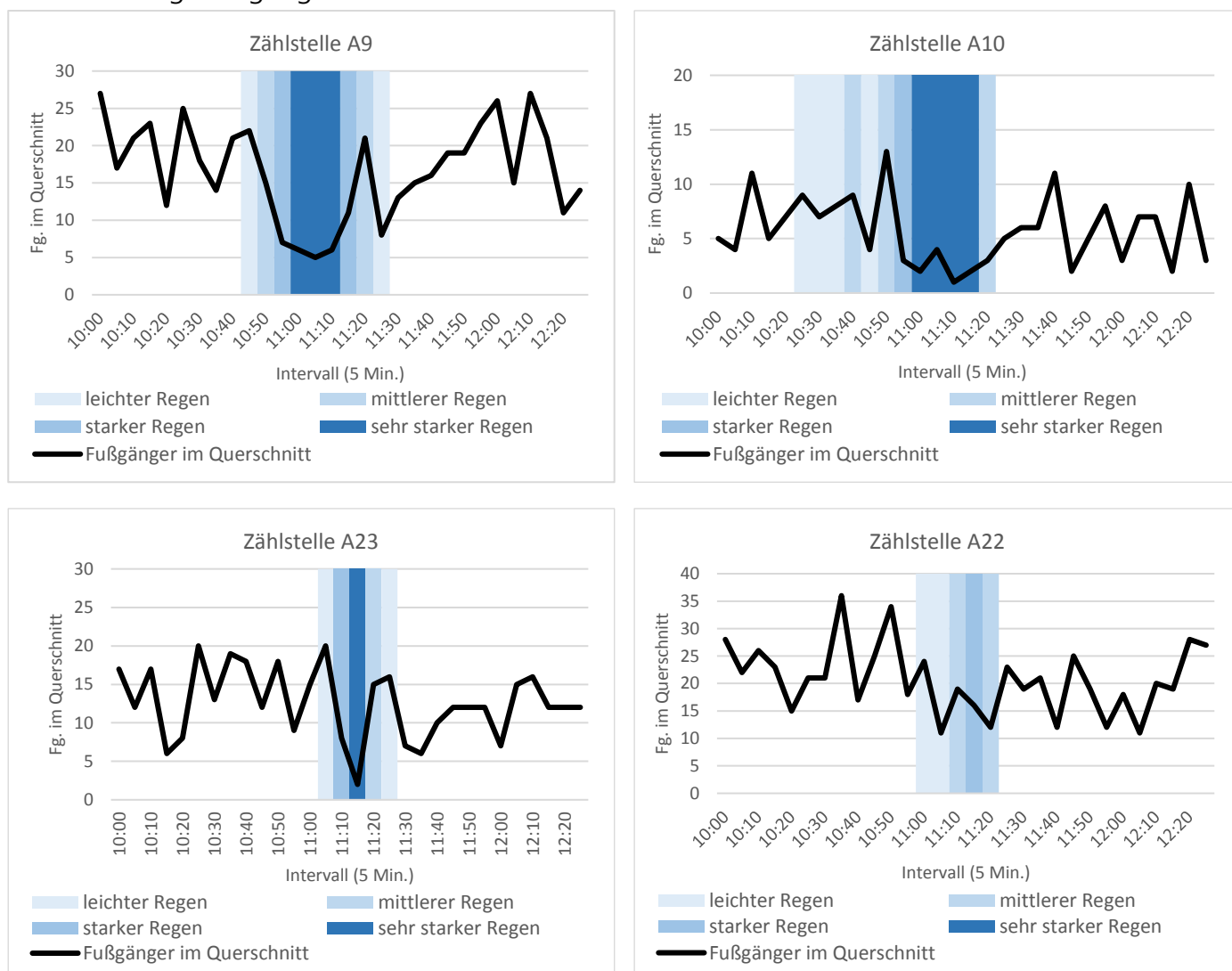


Abbildung 18 Kurzfristiger Einfluss von Niederschlag auf das Fußverkehrsaufkommen; 5-Minuten-Intervalle; y-Achse differierend.

An der dritten von diesem Niederschlagsereignis betroffenen Querschnitt (A23) ist für das einzige 5-Minuten-Intervall mit besonders starkem Regen ebenfalls ein deutlicher Rückgang der gezählten Fußgänger feststellbar, der schwächere Niederschlag davor und danach hat dagegen keinen erkennbaren Einfluss.

Bei der Zählstelle A22, bei der der Regen deutlich schwächer und der Zeitraum stärkeren Niederschlags nur kurz ausfiel, ist kein über die üblichen Schwankungen hinausgehender Rückgang des Aufkommens feststellbar. Offensichtlich war dieses Niederschlagsereignis nicht intensiv genug, um bei Fußgängern Verhaltensänderungen hervorzurufen.

Aus den vorliegenden Zählungen ist nicht ableitbar, dass sich das Fußverkehrsaufkommen durch den kurzzeitigen Niederschlag insgesamt bzw. bei summierter Betrachtung mehrerer von und nach dem Niederschlagsereignis liegenden Stunden messbar ändert. Einzig bei der Zählstelle A9 ist um den betroffenen Zeitraum auch beim gleitenden Stundenwert ein Rückgang feststellbar. Bei den anderen Zählstellen gleichen höhere Aufkommen vor und nach dem Niederschlag das geringere Aufkommen währenddessen aus.

Insgesamt bestätigen diese Zahlen empirisch, dass

- sehr starke Niederschläge zu einer mindestens kurzfristigen Verhaltensänderung führen,
- Ortsveränderungen, sofern möglich, zeitlich verlegt werden (z.B. Abwarten des stärksten Niederschlags im Gebäude),
- schwächere Niederschläge den hier primär betroffenen Alltagsverkehr nicht wesentlich erkennbar beeinflussen, sowie
- kurzfristige Niederschlagsereignisse nicht zu Verhaltensänderungen führen, die sich bedeutend auf über längere Zeiträume erhobene Zähldaten auswirken.

Damit ist bzgl. der Erhebung der Ganglinien weder von einem wesentlichen Einfluss der aufgetretenen starken Niederschlagsereignisse, noch der an einzelnen weiteren Stellen aufgetretenen kurzzeitigen schwachen Niederschlägen auszugehen.

5.5.2 Schulen

Im Folgenden werden diejenigen acht Zählstellen, die sich in der Nähe von Schulen befinden, hinsichtlich des Einflusses von Unterrichtsbeginn und -ende der Schulen untersucht.⁶ Zu beachten ist dabei, dass die Personengruppe „Kinder“ nur einen Teil der Schüler umfasst, da – zumindest bei weiterführenden Schulen – viele Schüler über 14 Jahre alt sind. Zudem ist von einer Untererfassung von Kindern auszugehen, da auch Fußgänger unter 14 Jahren aufgrund mangelnder Videoqualität oder schlecht schätzbarem Alter vielfach den Erwachsenen zugeordnet wurden, vgl. zur Problematik der Erfassung den Abschnitt 0 im Kapitel Methodik.

⁶ Die Auswahl erfolgte nach räumlicher Nähe von Zählstelle und Schule bzw. nach den zugehörigen Auffälligkeiten in den Zähldaten. Ein Abgleich mit den verfügbaren Schulwegplänen erwies sich als nicht zielführend, da diese i.d.R. nur grob Gefahrenpunkte ohne Bezug zu den tatsächlich genutzten Schulwegen enthalten.

An der Zählstelle C24 ist sowohl morgens, wie auch nachmittags ein erhöhtes Aufkommen an Kindern feststellbar. Dies ist angesichts der Gehrichtung, den dieses Aufkommen zuzuordnen ist, allerdings nur zum kleinen Teil auf die direkt anliegende Förderschule zurückzuführen. Der größere Teil der Kinder ist morgens Richtung Norden – von der anliegenden Schule weg – unterwegs. Vermutlich handelt es sich dabei um Schüler auf dem Weg zu den nördlich bzw. nordwestlich gelegenen Grund- und Realschulen. Die Anzahl der Schüler der direkt anliegenden Schule ist gering (unter 100 Schüler) und die Schule in Ganztags- und Halbtagschule unterteilt. Zudem kann bei einer Förderschule von einem erhöhten Anteil von Schülern ausgegangen werden, die die Schule per PKW oder Schulbus erreichen. Dies führt trotz der erkennbaren Spitze morgens plausibel nicht zu singulären Spitzen nach Schulschluss. Mittags und nachmittags treten einzelne kleine, auf die Schule zurückführbare Spitzen an Kindern Richtung Norden auf. Die erhöhte Anzahl Kinder zwischen 14 und 17 Uhr (v.a. Richtung Süden) lässt sich mit den südlich gelegenen Sportanlagen in Verbindung bringen.

An den Zählstellen A10, C3 und C22 treten sowohl morgens, wie auch mittags Spitzen im Aufkommen an Kindern sowie im Gesamtaufkommen auf. Diese können – auch unter Berücksichtigung der Gehrichtungen sowie genutzten Straßenseiten – direkt auf weiterführende Schulen in der Umgebung zurückgeführt werden und fallen mit den Uhrzeiten von Unterrichtsbeginn und -ende der jeweiligen Schulen zusammen. Die in der Nähe der Zählstelle C3 befindliche Grundschule hat dagegen keinen erkennbaren, über einzelne Kinder hinausgehenden Einfluss auf die dortige Tagesganglinie. An der Zählstelle C29 sind in den Tagesganglinien Unterrichtsbeginn- und -ende der nahen Ganztagesgrundschule richtungsspezifisch erkennbar. Am Zählquerschnitt A10 gibt es morgens zwei erkennbar auf Schüler zurückzuführende Spitzen um 7:45 und 8:30 Uhr, letztere vermutlich verursacht durch einen Unterrichtsbeginn zur zweiten Stunde.

An der Zählstelle C7 tritt morgens eine deutliche Spitze an Schülern Richtung des dortigen Gymnasiums auf. Mittags ergeben sich die für Bürostandorte typische Spitzen in entgegengesetzte Richtungen (vgl. Abschnitt 5.5.3). Diese können aufgrund ihrer zeitlichen Lage auf die Mittagspause der Schule und den dann eventuell von den Schülern zurückgelegten Weg zum nächstgelegenen Supermarkt zurückzuführen sein, wobei in der Umgebung der Zählstelle auch Büronutzung in relevantem Umfang vorhanden ist. Nachmittags ist nach Schulschluss ebenfalls eine erhöhte Spitze an Kinder feststellbar, bzgl. der Tagesganglinie aller Fußgänger geht diese allerdings im hohen Gesamtverkehrsaufkommen unter.

An der Zählstelle D2 ist kein spezifischer Einfluss der nahegelegenen Grund- und Gesamtschulen erkennbar, erklärbar durch die mikroskopische Lage der untersuchten Straße parallel zur Schulfront.

An der Zählstelle C15 zeigt sich ein hinsichtlich des Aufkommens an Kindern deutlicher Einfluss des Unterrichtsbeginns und -endes der beiden nördlich gelegenen Grundschulen; dabei sind mittags und nachmittags mehrere Spitzen passend zum Ende der Halbtags- bzw. Ganztagsbetreuung erkennbar. Nachmittags haben die Kinder allerdings keinen nennenswerten Einfluss auf die Ganglinie des Gesamtaufkommens.

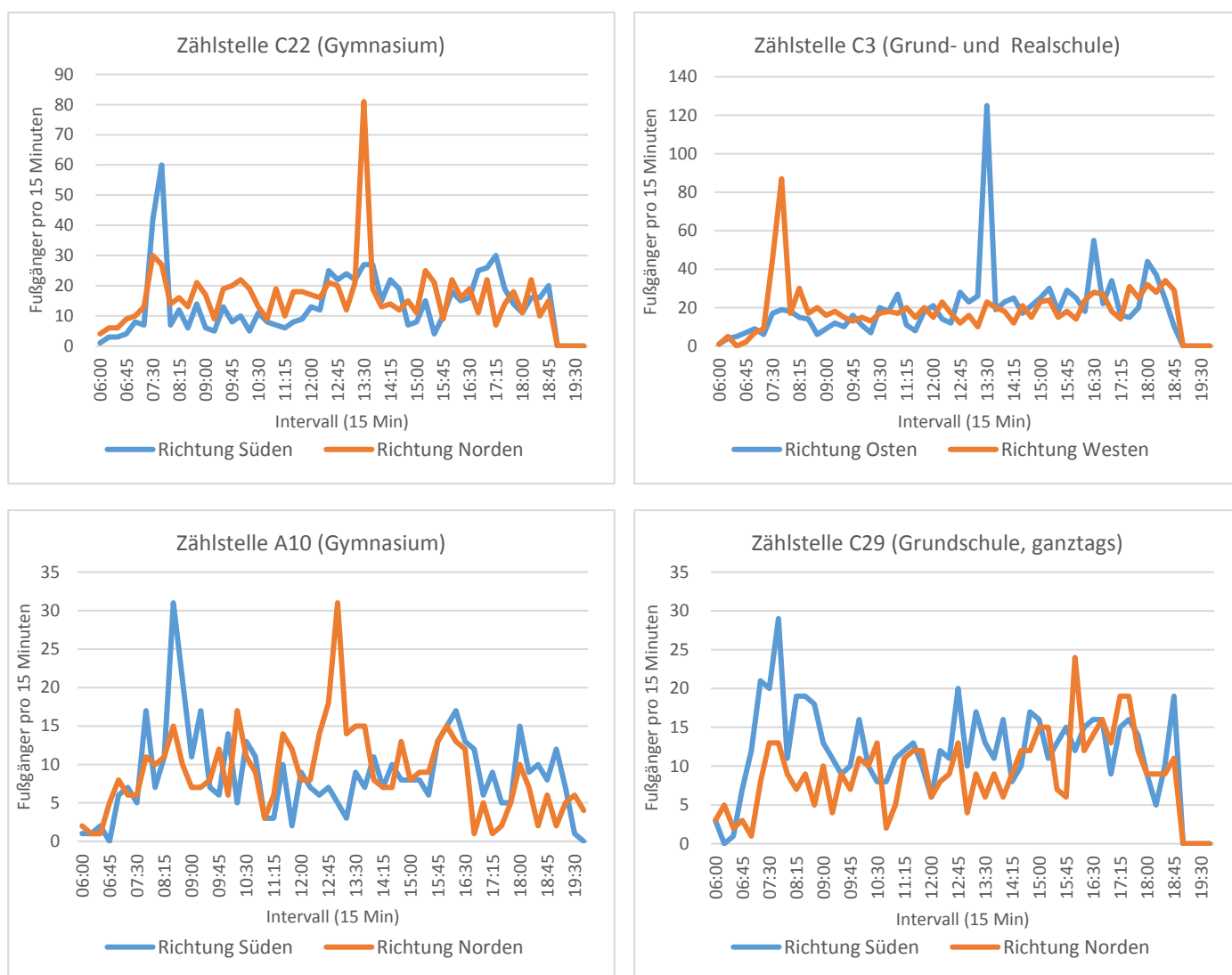


Abbildung 19 Ganglinien an Schulstandorten (Auswahl); 15-Min-Intervalle, richtungsgetreunt, y-Achse differierend; die durch Unterrichtsbeginn und -ende hervorgerufenen Spitzen sind deutlich erkennbar. Die Ganglinien der weiteren in diesem Abschnitt erwähnten Zählstellen sind im Anhang 8.2 abgebildet.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass vor allem weiterführende Schulen deutliche Auswirkungen auf das Fußverkehrsaufkommen und dessen Ganglinie in der Umgebung haben. Ob und welche Auswirkungen auftreten, hängt wie zu erwarten stark von der mikroskopischen Lage der Zählstelle in Relation zur Schule und deren Hauptzugangswegen (u.a. von den nächstgelegenen ÖV-Haltestellen) ab. Bei Grundschulen ist der Einfluss – auch, aber womöglich nicht nur aufgrund der niedrigeren Zahl an Schülern – geringer. Denkbar ist, dass der geringere Einfluss von Grundschulen auch auf die wohnortnahe Lage der Grundschulen und die hierdurch weniger stark gebündelten Verkehrsströme zurückzuführen ist. Zur Verifizierung dieser These wären allerdings mehrere Zählstellen in direkter Umgebung *eines* Schulstandortes oder die Anwendung anderer Erhebungsmethoden (bspw. Befragungen) notwendig.

Deutlich erkennbar ist in den Daten die Differenzierung zwischen Halbtags- und Ganztagschulen. Dies ist insbesondere hinsichtlich der in der Literatur oftmals erfolgenden Annahme der Lage der Spitzenstunde in der Mittagszeit bedeutend, da der zunehmende Anteil an Ganztagschulen zu einer Verschiebung des Fußverkehrsaufkommens der Schüler vom Mittag in den Nachmittag sowie zu einer Streckung der schulbedingten Mittags- bzw. Nachmittagsspitze führt.

5.5.3 Mittagsspitze

An mehreren Zählstellen entstehen Mittagsspitzen, die auf die Mittagspause der in der Umgebung arbeitenden Bevölkerung und das in diesem Zeitraum stattfindende Aufsuchen gastronomischer Betriebe zurückzuführen sind. Dabei ist eine meist stärkere, etwas kürzere Spitze in einer Richtung erkennbar, zweitversetzt dazu bildet sich eine schwächere, meist etwas länger andauernde Spitze in die entgegengesetzte Gegenrichtung. Dies bestätigt die eingangs aufgestellte These des messbaren Einflusses typischer Verhaltensweisen im Tagesverlauf auf die Ganglinien.

Anders als bei den o.g. durch Schülerverkehr verursachten mittäglichen Spitzen, die auf ein erhöhtes Aufkommen innerhalb von maximal 30 Minuten zurückzuführen sind, umfassen diese Spitzen einen Zeitraum von jeweils über einer Stunde.

Zwei der vier Zählstellen mit deutlich erkennbarer derartigem Verlauf befinden sich innenstadtnaher Lage mit einem hohen Anteil an Büronutzung in der Umgebung. Eine dritte Stelle liegt in einem Stadtteilzentrum in Stadtrandlage, dort kann die auftretende Mittags-

spitze auf ein direkt hinter der Zählstelle gelegenes, größeres Bürogebäude einer Versicherungsgesellschaft zurückgeführt werden.

An der Zählstelle D9, der einzigen Gewerbestraße in der Stichprobe, ist diese Mittagsspitze deutlich und isoliert erkennbar. Dort sind zudem – wie auch an anderen Zählquerschnitten mit einem hohen Anteil Gewerbe oder Büronutzung im Umfeld – mittags ein erheblicher Anteil aller Fußgänger in Gruppen unterwegs.

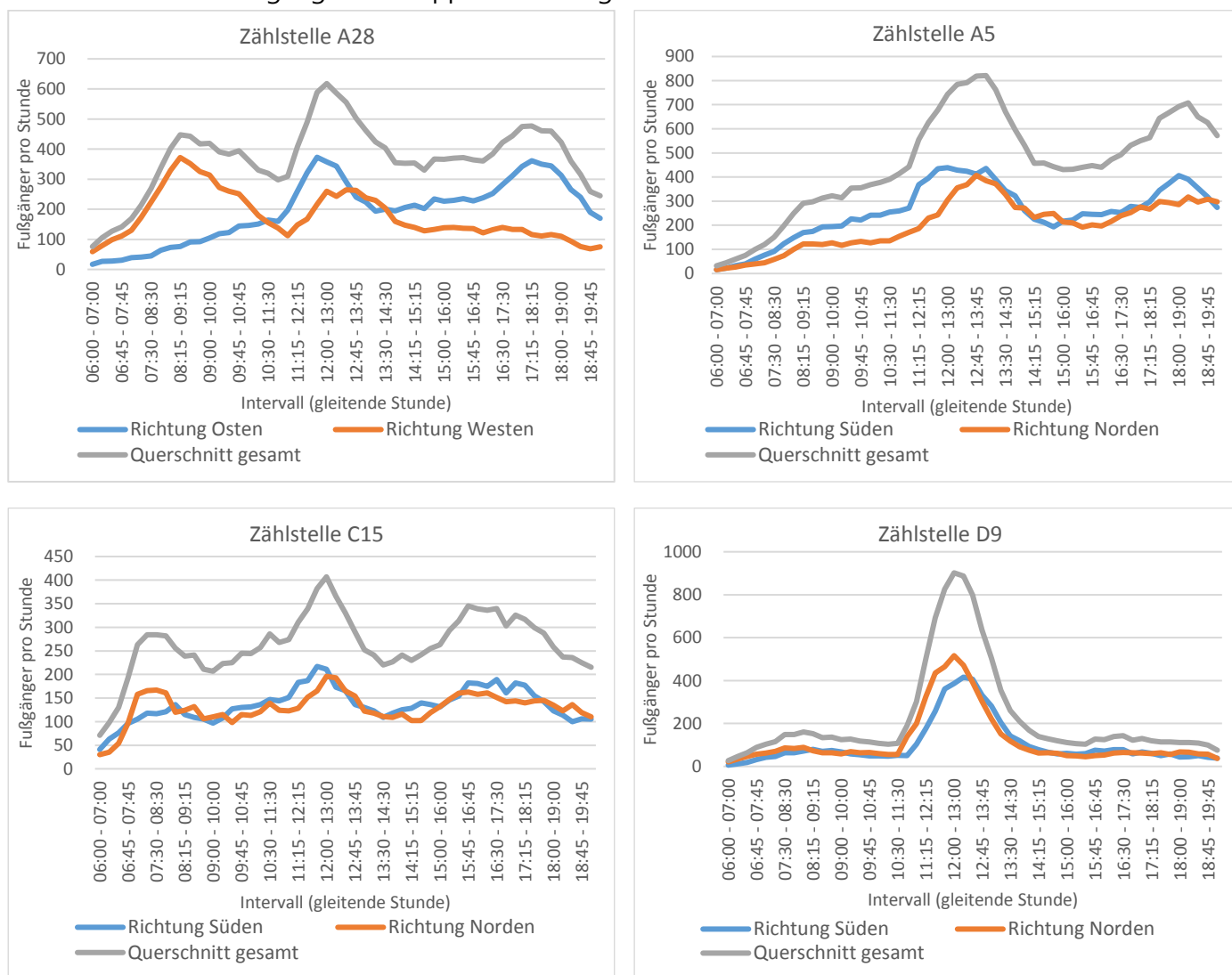


Abbildung 20 Ganglinien an Querschnitten mit ausgeprägter Mittagsspitze; Fußgänger pro gleitende Stunde nach Gehrichtung.

5.5.4 Auswirkungen der Ladenöffnungszeiten

In der Literatur wird wiederholt die große Bedeutung der Öffnungszeiten von Einzelhandelseinrichtungen auf das Fußverkehrsaufkommen beschrieben, die zu einem starken Abfall gegen 18:00 Uhr führten [Heidemann 1967; Bohle 1995, S. 18]. Im Abschnitt 3.5.1 wurde

bereits die Vermutung geäußert, dass diese Aussage aufgrund geänderter Ladenöffnungszeiten nicht auf heutige Verhältnisse übertragbar ist.

Zur Überprüfung dieser These werden die Zählergebnisse, differenziert nach Zählstellen mit unterschiedlicher Häufigkeit von Einzelhandelseinrichtungen im Umfeld, analysiert. Aufgrund des besonderen Interesses an den Aufkommensänderungen nach 18:00 Uhr werden nur Zählstellen berücksichtigt, für die Daten bis 20:00 Uhr vorliegen. Zählzeiten für die Zeit nach 20:00 Uhr sind grundsätzlich nicht verfügbar.

Als Grundlage diente das Vorkommen von Einzelhandelseinrichtungen (EHE) für jede Zählstelle, unterteilt in „keine EHE“ (n = 8), „einzelne EHE“ (n = 6), „einige EHE“ (n = 4) und „viele EHE“ (n = 5), wobei neben der Anzahl der Geschäfte auch deren Größe und Bedeutung einbezogen wurden (bspw. gleichen einzelne Supermärkte eine größere Anzahl kleinerer Fachgeschäfte aus). Mit dieser qualitativen Einteilung wird das Problem umgangen, dass bei Betrachtung von Anzahl oder (analog dem Umfeldfaktor) der Länge mehrere sehr kleinflächige bzw. einzelne großflächige, aber jeweils nur schwach frequentierte Geschäfte ein zu großes Gewicht erhalten. Die Ganglinien nach Häufigkeit der Einzelhandelseinrichtungen sind in Abbildung 21 dargestellt.

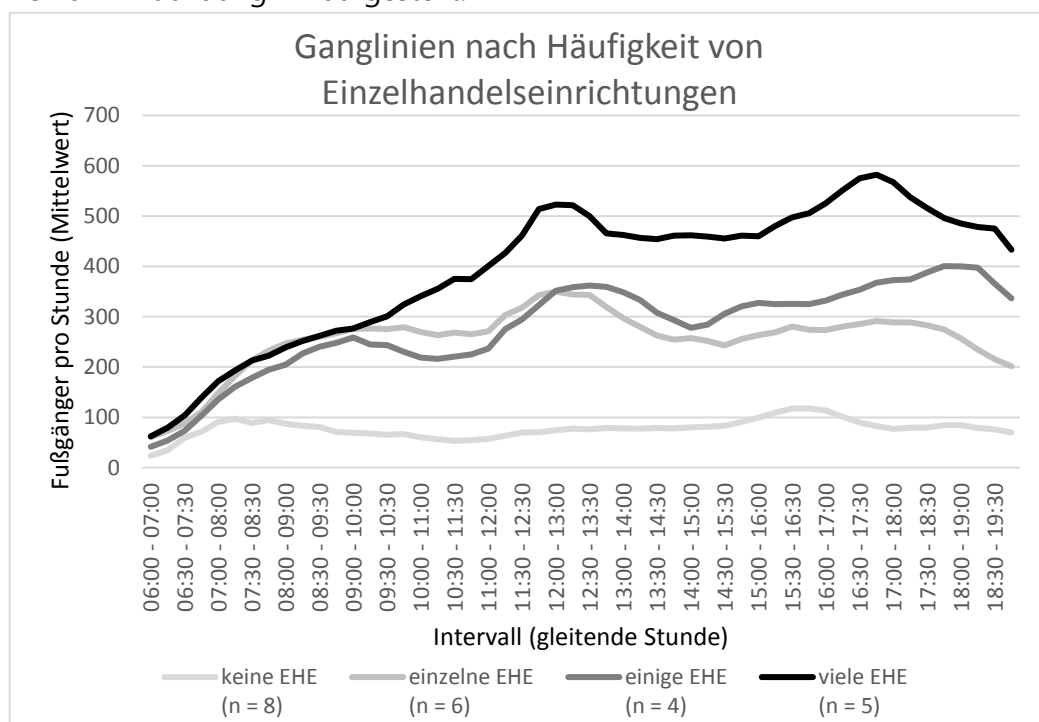


Abbildung 21 Ganglinien nach Häufigkeit von Einzelhandelseinrichtungen, relativ; gruppiert; die absoluten Aufkommen sind der Abbildung 38 im Anhang 8.2 dargestellt

Das Aufkommen an Zählstellen ohne Geschäfte im Umfeld bewegt sich ab etwa 7:30 Uhr auf vergleichsweise konstantem, niedrigem Niveau. Bei allen anderen Kategorien verläuft die Ganglinie bis ca. 9:45 Uhr ähnlich, danach steigt das stündliche Aufkommen umso stärker, je mehr Einzelhandelseinrichtungen sich in der direkten Umgebung befinden.

Ab etwa 18:15 Uhr ist bei allen Zählstellen mit Geschäften ein deutlicher Rückgang ersichtlich, der bei höherem Geschäftsbesatz zudem stärker ausfällt. Dieser Rückgang beginnt später und fällt schwächer aus als in bisherigen Erhebungen ermittelt wurde. Die o.g. Vermutung der Verschiebung des abendlichen Rückgangs des Fußverkehrsaufkommens kann damit bestätigt werden.

Entscheidend hinsichtlich des Zusammenhangs mit Ladenöffnungszeiten ist allerdings weniger die absolute Uhrzeit der Betrachtung, als vielmehr der Zeitpunkt des Schließens der Geschäfte. Dieser differiert auch innerhalb eines Straßenabschnitts u.U. erheblich zwischen verschiedenen Geschäften. Gegenüber der bis in die 1990er Jahre geltenden einheitlichen gesetzlichen Schließzeit sind die Ladenöffnungszeiten heute deutlich differenzierter. Meist korreliert die Dichte an Geschäften mit den Ladenöffnungszeiten: je mehr Einzelhandelseinrichtungen in einem Umfeld vorhanden sind, desto länger haben diese geöffnet. Allerdings schließen bspw. selbst in wichtigen Einkaufsstraßen gelegene Banken oder Postfilialen, bei denen von einer hohen Kundenfrequenz ausgegangen werden kann, bereits um 18:00 Uhr. Differenzen in den Ladenschlusszeiten der Geschäfte sind bei allen betroffenen Zählstellen vorhanden. Entsprechend lässt sich der gegenüber früheren Erhebungen deutlich flachere Abfall beim Fußverkehrsaufkommen abends durch diese Staffelung der Ladenschlusszeiten erklären. Die mehrfach beschriebene abrupte Abnahme des Fußverkehrs nach 18 Uhr ist damit nicht mehr aktuell.

5.6 Ganglinien nach Städten

Grundsätzlich ist es denkbar, dass zumindest einige der oben angesprochenen Merkmale der Fußgängerganglinien auch auf stadtspezifische Besonderheiten zurückzuführen sind. Ein Beispiel für einen derartigen Effekt ist die bei Tagesganglinien des KFZ-Verkehrs bekannte Differenz in der Lage der Morgenspitze zwischen West- und Ostdeutschland [HBS 2001, S. 2-17], die auf Unterschiede im üblichen Tagesrhythmus der Bevölkerung zurückzuführen ist, sich aber infolge der Angleichung der Lebensverhältnisse und -gewohnheiten mittlerweile zunehmend auflöst.

Hierzu erfolgt die Mittelwertbildung der gleitenden Stundenwerte absolut und relativ für die Zählstellen jeweils einer Stadt. Die relativen Aufkommen sind in Abbildung 22, die absoluten Aufkommen in Abbildung 39 im Anhang 8.2 dargestellt.

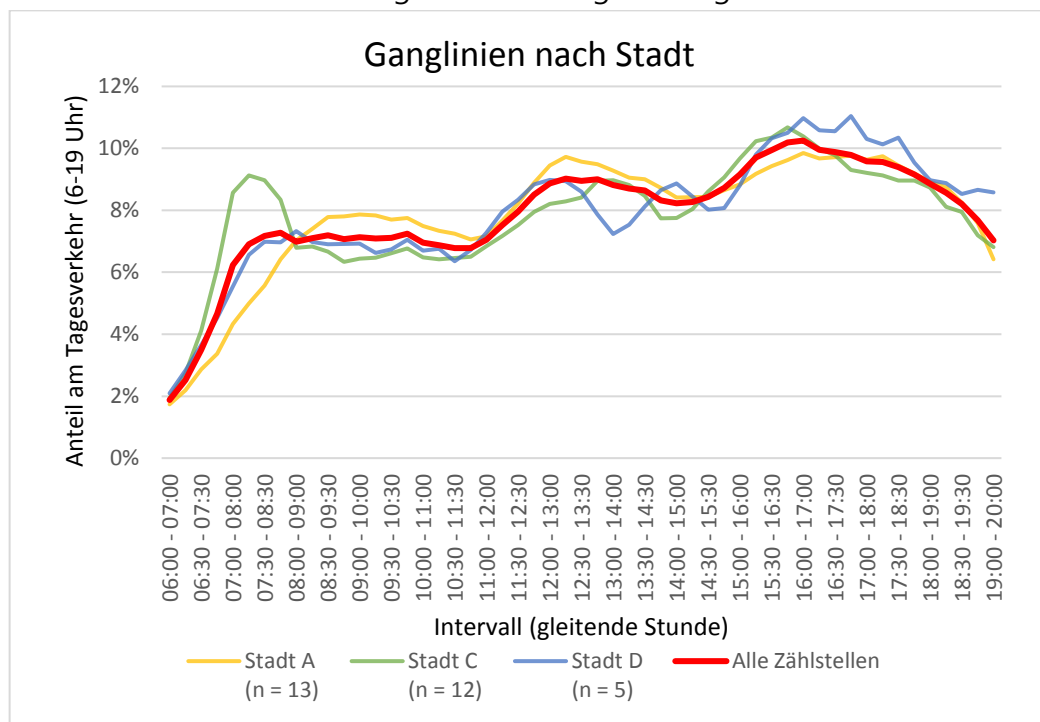


Abbildung 22 Ganglinien nach Stadt, relativ; die absoluten Aufkommen sind in Abbildung 39 im Anhang 8.2 dargestellt.

Deutlich zeigt sich der auch auf die Größe der Stadt zurückführbare Effekt, dass in Stadt A das durchschnittliche Aufkommen pro Zählstelle erheblich über den Werten der anderen Städte liegt. Bei der Verteilung des Verkehrsaufkommens über den Tag sind dagegen nur geringe Unterschiede zwischen den Städten vorhanden.

Die oben beschriebene Mittagsspitze, wie auch ein langgezogenes Nachmittagshoch, ist bei allen Städten sowohl in den absoluten wie auch den relativen Zahlen erkennbar, wenn auch unterschiedlich stark ausgeprägt. Wesentliche Unterschiede zwischen den Städten liegen vor allem bei der Morgenspitze vor. Diese ist in der Stadt C sowohl relativ wie auch absolut deutlich, in der Stadt D dagegen nur in den absoluten Zahlen und dort auch nur schwach sowie in der Stadt A nicht vorhanden. Ab dem späten Vormittag verhalten sich die relativen Ganglinien der Städte ähnlich. Abgesehen von dem in der Stadt D nach 18:00 Uhr etwas schwächer ausfallendem Rückgang des Verkehrsaufkommens, der auf eine einzelne Zählstelle mit zahlreichen Restaurants zurückzuführen ist, ist auch hinsichtlich der Entwicklung der Ganglinie nach 18:00 Uhr kein (z.B. hinsichtlich des Einflusses des Einkaufsverkehrs oder der Ladenöffnungszeiten bedeutsamer) Unterschied feststellbar.

Bei Analyse aller Ganglinien der einzelnen Zählstellen, getrennt nach Stadt, zeigt sich, dass alle o.g. Ausprägungen von Ganglinien oder Teilen davon (bspw. Mittagsspitzen, Beeinflussung durch Öffnungszeiten des Einzelhandels) in allen Städten auftreten, die beschriebenen Effekte dementsprechend nicht stadtspezifisch sind. Daraus folgt wiederum, dass – unter Berücksichtigung der insbesondere in der Stadt D nur kleinen Stichprobe – die Differenzen in den stadtspezifischen Ganglinien vor allem auf die unterschiedliche Zusammensetzung der Stichprobe der Zählstellen pro Stadt zurückzuführen sind, weniger auf Unterschiede zwischen den Städten.

5.7 Lage der Spitzenstunde

In diversen Publikationen werden die Spitzenstunden des Fußverkehrs am Mittag (11 bis 13 bzw. 12 bis 14 Uhr) oder am späten Nachmittag (16 bis 18 Uhr) verortet [EVE 2012, S. 27; Alrutz 1999, S. 14], wobei die zugrunde gelegten Erhebungen teilweise nur einzelne Zählquerschnitte umfassen [z.B. Bohle 1995, S. 27 ff] oder ohne eigene Erhebungen auf andere Publikationen verwiesen wird. Die einzige Bestimmung der Spitzenstunde mit umfangreicher empirischer Basis in Deutschland erfolgte durch [Heidemann 1967, S. 63 ff] für innerstädtische Querschnitte mit einer deutlichen Spitze zwischen 16 und 18 Uhr sowie einer weiteren, schwächeren Spitze – je nach Straßentyp – mittags oder am späten Vormittag.

Wie bereits in den obigen Abschnitten beschrieben, sind bzgl. betrachteter Einzelaspekte Verschiebungen gegenüber den in der Literatur diskutierten Charakteristika feststellbar, die auf gesellschaftliche Veränderungen zurückgeführt werden können. Dies betrifft neben der Änderung der Ladenöffnungszeiten und dem Trend zu Ganztagschulen auch die Flexibilisierung der Arbeitszeiten, einen höheren Anteil berufstätiger Frauen sowie die zunehmende Mobilität von Senioren. Insofern wäre eine Verschiebung der Spitzenstunden plausibel.

Die in der Literatur genannten Spitzenstunden können jedoch im Wesentlichen mit den hier vorliegenden Daten bestätigt werden, wenn auch mit einer breiter gestreuten Verteilung der Spitzenstunden nachmittags.

Die Spitzenstunden der einzelnen Zählstellen verteilen sich über den gesamten Tag, mit einem deutlichen Schwerpunkt auf die Stunden 15 bis 19 Uhr (vgl. Abbildung 23⁷). Die

⁷ Dargestellt werden hier zur Verbesserung der Übersichtlichkeit die normalen vollen Stunden, die Ergebnisse ändern sich jedoch auch bei Verwendung gleitender Stunden nicht wesentlich.

Spitzenstunde bei mehreren innerstädtischen Querschnitten liegt aufgrund der im Abschnitt 5.5.3 beschriebenen Mittagsspitze zwischen 12 und 14 Uhr, hinzu kommen bei zwei Zählstellen mit zahlreichen Restaurants und Bars Spitzenstunden nach 18 Uhr. In der größten Kategorie „Vorstädte“ überwiegen nachmittägliche Spitzenstunden. In der v.a. aus schwach frequentierten Zählstellen bestehenden Kategorie „Stadttrand“ verteilen sich die Stunden mit dem höchsten Aufkommen über den Tag.

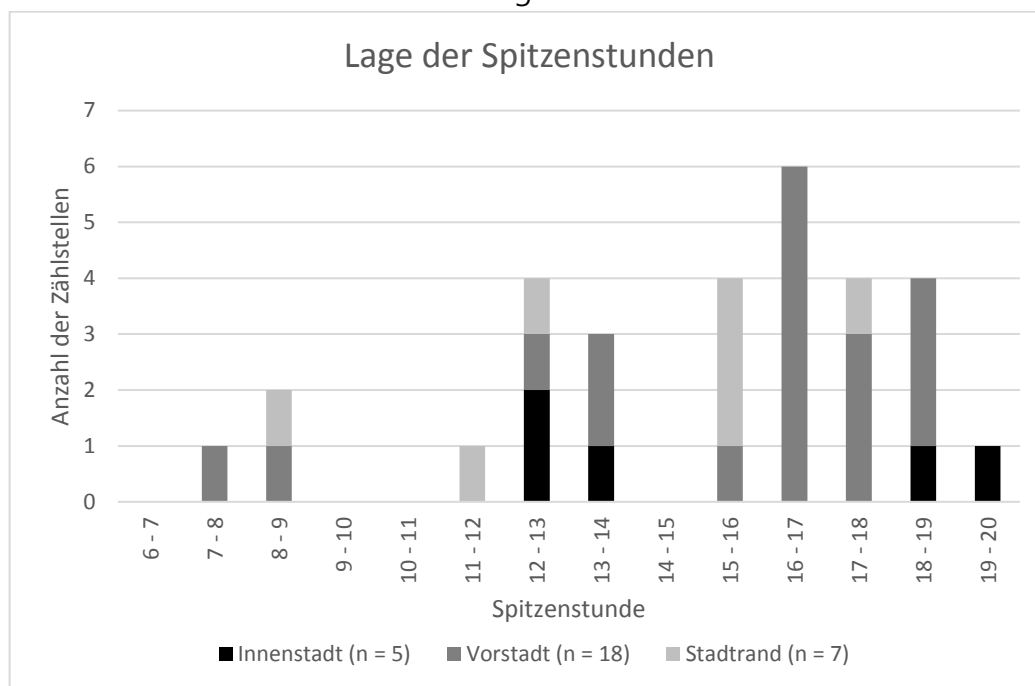


Abbildung 23 Lage der Spitzenstunden an den Zählstellen, differenziert nach Siedlungsstruktur

Die Spitzenstunde bei Mittelung der Anteile der Stunden der einzelnen Zählstellen liegt zwischen 16 und 17 Uhr. Die Spitzenstunden bzgl. des über alle Zählstellen gemittelten absoluten Aufkommens liegen zwischen 16 und 17 sowie 17 und 18 Uhr⁸, bei Verwendung gleitender Stunden zwischen 16:45 und 17:45 Uhr. Daneben erreicht auch das Aufkommen in der Stunde von 12 bis 13 Uhr aufgrund einzelner besonders stark frequentierter Zählstellen ein ähnliches Niveau (vgl. Abbildung 26 in Abschnitt 5.9).

Gegenüber dem bei Heidemann ermittelten Anteil der Spitzenstunde am Tagesverkehr (ca. 14%) sind die hier ermittelten Anteile mit rund 10% deutlich geringer. Ein wesentlicher Grund dafür ist die mit der Änderung der Ladenöffnungszeiten einhergehende Entzerrung des spätnachmittäglichen Einkaufsverkehrs.

⁸ Differenz des Mittelwertes der beiden Stunden unter 0,5 Fg/h

5.8 Vergleich mit Ganglinien aus Mobilitätserhebungen

Grundsätzlich wäre es auch denkbar, die o.g. Fragestellungen einschließlich der unten folgenden Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren auf der Basis von Mobilitätserhebungen (z.B. MiD, SrV) zu bearbeiten. Dazu müssen aus den Mobilitätserhebungen außer den Wegen mit dem Hauptverkehrsmittel „zu Fuß“ auch alle zu Fuß zurückgelegten Etappen anderer Hauptverkehrsmittel aggregiert werden.

Voraussetzung hierfür wäre, dass die erhobene zeitliche Verteilung der Wege einschließlich weiterer Daten alle für die Ableitung von für den Straßenraum gültigen Ganglinien notwendige Angaben enthalten. Alternativ müssten die nicht enthaltenen Informationen sowie die enthaltenen Fehler der Erhebungen sich gegenseitig räumlich und zeitlich so ausgleichen, dass sie keinen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der aus den Erhebungen direkt hervorgehenden Verkehrsleistung haben.

Abgesehen von den bereits im Abschnitt 2.2 beschriebenen Unterschieden bzgl. der Erfassung von Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommen existieren bei Mobilitätserhebungen einige für die hier bearbeiteten Fragestellungen problematische Eigenschaften:

- Eine systematische Untererfassung von zu Fuß zurückgelegten Wegen.
- Eine systematische Untererfassung der bei Wegeketten zu Fuß zurückgelegten Etappen sowie eine oftmals fehlende Erhebung deren Länge.
- Die systematische Fehlschätzung von Wegelänge und -dauer durch die befragten Personen.
- Eine fehlende oder durch ungenaue Antworten stark fehlerbehaftete Erfassung der Routenwahl.

Relevant hinsichtlich der Verwendbarkeit von Mobilitätserhebungen für die Beantwortung o.g. Fragestellung ist vor allem die immer wieder erwähnte und diskutierte [Maier 1984, S. M 23 f; Brög 1999, S. 22 ff; Zweibrücken 2005, S. 18, Brög 2017], bis heute aber nicht vollständig behobene Unzuverlässigkeit der Befragungen hinsichtlich der Erfassung von zu Fuß zurückgelegten Etappen sowie kurzer Fußwege.

So berichteten bspw. in der Mobilitätserhebung MiD 2008 die Befragten für 77,8 % der ÖV-Wege, neben dem ÖV auch anderer Verkehrsmittel innerhalb des Weges genutzt zu haben (davon wurde bei 63,8 % der Wege „Fußverkehr“ als zusätzlich benutztes Verkehrsmittel genannt, 8,9 % entfielen auf den MIV und 5,1 % auf den Radverkehr) [MiD Tabellenband, Tabelle W 4.1.1]. Unter Berücksichtigung der möglichen Mehrfachnennungen (z.B.

mit Fahrrad zur ÖV-Haltestelle, am Ende der ÖV-Fahrt zu Fuß zum Ziel) bedeutet dies für deutlich über ein Fünftel aller ÖV-Wege eine fehlende Nutzung anderer Verkehrsmittel für den Weg zur oder von der Haltestelle. Die Korrektheit dieser Aussage würde voraussetzen, dass sowohl am Start-, wie auch am Zielpunkt die Entfernung zur Haltestelle zu kurz ist, um diese als eigenständige Etappe aufzufassen. Dem widerspricht, dass selbst bei ÖPNV-Stammkunden weniger als einem Viertel der Befragten eine Haltestelle in weniger als 100 m Entfernung zur Verfügung steht [MiD Tabellenband Tabelle P 4.1, P 4.2], wobei diese Verfügbarkeit auch nur einen von den zwei i.d.R. obligatorischen Zu- und Abgangswegen betrifft. Allgemein ist bei der Benutzung des ÖV – zumal beim Alltagsverkehr der Wohnbevölkerung deutscher Großstädte – fast immer mindestens einmal (im Zu- oder Abgang) von dem Zurücklegen einer Etappe zu Fuß auszugehen.

Eine ähnliche Problematik besteht auch hinsichtlich der Erfassung von Fußwegen im Vor- oder Nachlauf von PKW-Fahrten: So enthielten nur 3,7 % der Wege der MIV-Fahrer auch Fußwege, bei den MIV-Mitfahrern lag der Anteil mit 4,7 % nur wenig höher [MiD Tabellenband, Tabelle W 4.1.1]. Auch dies setzt voraus, dass bei über 95 % aller Wege die Fahrt mit dem KFZ direkt am Grundstück der Quelle begonnen werden kann und auch das Ziel direkt per KFZ erreichbar ist, ohne einen zusätzlichen Weg zu oder von einem nicht direkt am Grundstück gelegenen Parkplatz zurücklegen zu müssen.

Alle genannten Probleme, vor allem aber die Untererfassung von Wegen und Etappen, haben Auswirkungen sowohl auf das für den Fußverkehr erhobene (etappenfeine) Verkehrsaufkommen, wie auch auf die für die Ganglinien primär relevante Verkehrsleistung.

Es ist nicht von einem Ausgleich der genannten systematischen Fehler im Verlauf eines Tages auszugehen, der dazu führt, dass die in den Mobilitätserhebungen für den Fußverkehr erfassten (Tages-)Ganglinien der realen, sich bei einer tatsächlichen Vollerhebung ergebenden Ganglinien entsprechen. Dies zeigt sich schon an der erheblichen Differenz zwischen der Tagesganglinie der Wege mit dem Hauptverkehrsmittel „zu Fuß“ und derjenigen der anderen Hauptverkehrsmittel (vgl. Abbildung 24). Dadurch haben zwischen den Wegeketten verschiedener Hauptverkehrsmittel unterschiedliche Anteile der nicht erfassten Etappen unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Untererfassung im Verlauf eines Tages. Entsprechend repräsentieren die Ganglinien aus Mobilitätserhebungen je nach Tageszeit einen unterschiedlichen Anteil des tatsächlichen Fußverkehrs.

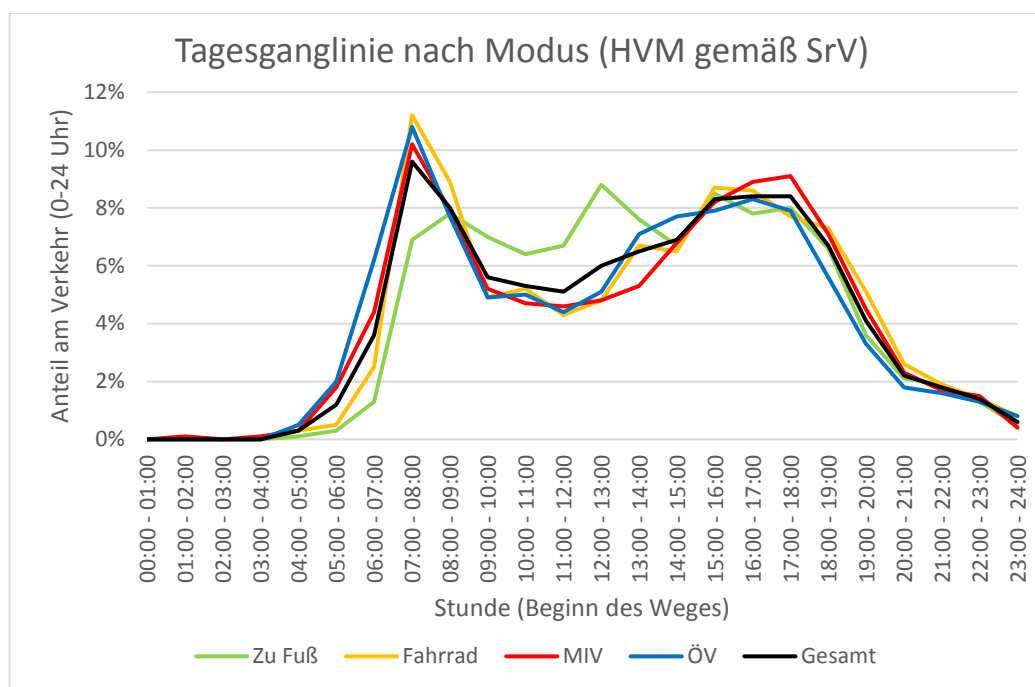


Abbildung 24 Tagesganglinie des Verkehrsaufkommens aus SrV 2013, differenziert nach Hauptverkehrsmittel (Quelle der Daten: [SrV 2013b, Tabelle 8.1])

Für diese Arbeit stehen Daten zur zeitlichen Verteilung von Verkehrsaufkommen für Städte über 500.000 Einwohner aus der 2013 von der TU Dresden durchgeführten Haushaltsbefragungen „System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SRV) – Mobilität in Städten“ zur Verfügung. Die Daten beziehen sich auf mittlere Werktage und sind damit diesbezüglich mit den oben analysierten Querschnitterhebungen vergleichbar.

Um die in dieser Arbeit ermittelten Ganglinien mit den Ergebnissen von Mobilitätsbefragungen – unter Berücksichtigung der o.g. Limitationen – vergleichen zu können, sollen diese Daten im Folgenden so aufbereitet werden, dass sie die tatsächliche Verkehrsleistung des Fußverkehrs möglichst gut repräsentieren.

Dazu wird vereinfacht davon ausgegangen, dass die Länge der Fußwege wie auch die Länge der zu Fuß zurückgelegten Etappen komplexer Wegeketten im Tagesverlauf konstant sind. Für reine Fußwege wird die in SrV 2013 ermittelte durchschnittliche Wegelänge von 0,9 km angesetzt [SrV 2013b, Tabelle 7.4.1]. Für jeden Weg mit dem Hauptverkehrsmittel ÖV werden gemäß [Brög 2014] 0,6 km und für jeden Weg mit dem Hauptverkehrsmittel MIV in Anlehnung an [Brög 2017, S. 13] 0,1 km⁹ als Summe der in Zu- und Abgang zu Fuß zurückgelegten Entfernung angenommen. Für den Radverkehr werden keine

⁹ In [Brög 2017] bezieht sich die Angabe von 0,1 km nur auf MIV-Fahrer, nicht jedoch auf MIV-Mitfahrer, denen eine Länge von zu-Fuß-Etappen von 0,0 km zugewiesen ist. Allerdings beinhalten

Fußverkehrsetappen berücksichtigt.

Die Daten aus SrV enthalten nur den Zeitpunkt des Beginns des Weges. Ein Teil der auf die in einer Stunde beginnenden Wege zurückgehende Verkehrsleistung findet naturgemäß erst in der darauffolgenden Stunde statt. Dies muss für einen Vergleich mit den durchgeführten Querschnittszählungen korrigiert werden.

Wie groß dieser Anteil ist, hängt im Wesentlichen von der Dauer des Weges sowie der Verteilung des Wegebegins innerhalb der Stunde ab. Konkret wird, da keine anderen Informationen verfügbar sind, von einer Gleichverteilung des Wegebegins innerhalb der jeweiligen Stunde ausgegangen. Für die Dauer der Wege werden die in SrV 2013 für jeden Modus publizierten mittleren Reisezeiten [SrV 2013b, Tabelle 7.4.1] angesetzt. Der Anteil der in die jeweils nächste Stunde verschobenen Verkehrsleistung beträgt $\text{Dauer des Weges [min]} / (2 \times 60 \text{ min})$. Für die Vergleichbarkeit mit dem in dieser Arbeit erhobenen Zeitraum wird die auf Grundlage der SrV-Daten ermittelte Ganglinie auf den Zeitraum von 6 bis 19 Uhr auf 100 % normiert.

Der Vergleich zwischen der sich mit obigen Annahmen aus SrV ergebenden Verkehrsleistung mit der in dieser Arbeit durch Querschnittszählungen ermittelten Ganglinie des Fußverkehrs ist in Abbildung 25 dargestellt.

Zum einen zeigt sich, dass zwar die Wege mit dem Hauptverkehrsmittel „zu Fuß“ unabhängig von der Tageszeit den überwiegenden Teil (insgesamt rund zwei Drittel) der Verkehrsleistung ausmachen, die den anderen Hauptverkehrsmitteln zuzuordnende Verkehrsleistung des Fußverkehrs aber dennoch einen relevanten, nicht vernachlässigbaren Teil beiträgt. Größere Anteile der Etappen anderer Hauptverkehrsmittel treten vor allem in der Morgenspitze auf.

Zum anderen ergeben sich Abweichungen zwischen den Erhebungsmethoden vor allem in der Morgenspitze mit einem aus SrV abgeleiteten höheren Anteil am Tagesverkehr. Ausgeglichen wird dies durch einen etwas höheren Anteil der Mittagsstunden sowie der späten Nachmittagsstunden bei den Querschnittszählungen. Die beiden Ganglinien stimmen ab 9

die vorliegenden Daten aus SrV keine Differenzierung nach Fahrer und Mitfahrer, so dass hier der Wert für MIV-Fahrer vereinfacht für alle MIV-Wege angesetzt wird. Zudem ist das vollständige Fehlen von zu Fuß zurückgelegten Zu- und Abgangswegen auch bei MIV-Mitfahrern unplausibel und der Anteil der MIV-Mitfahrer-Wegen in Relation zu allen Wegen klein.

Uhr überwiegend gut überein. Zu berücksichtigen sind dabei auch die Schwankungen der stündlichen Anteile der Querschnittszählung zwischen verschiedenen Zählstellen.

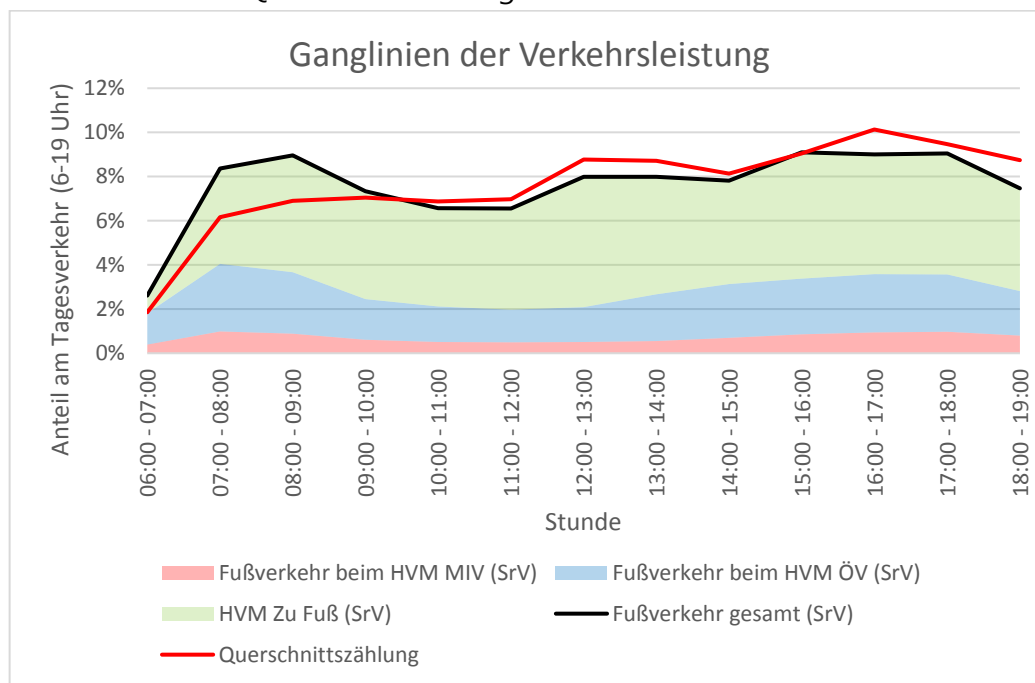


Abbildung 25 Ganglinien der Verkehrsleistung des Fußverkehrs aus SrV nach Hauptverkehrsmittel sowie den Querschnittserhebungen; alle Wege (einschließlich Quell- und Zielverkehr); normiert auf 6 bis 19 Uhr; Quelle der SrV-Daten: [SrV 2013b, Tabelle 8.1] i.V.m eigenen Berechnungen

Als Gründe für die Differenzen zwischen den Ergebnissen der Haushaltsbefragung und der Querschnittszählung kommen verschiedene Aspekte in Betracht. Dazu zählen insbesondere die Frage der Repräsentativität beider Erhebungsmethoden sowie die sich bei der Aufbereitung der SrV-Daten auswirkenden Annahmen:

- Die Repräsentativität der ausgewählten Querschnitte ist zweifelhaft. So wäre es z.B. vorstellbar, dass jene Querschnitte mit ausgeprägter Morgenspitze gegenüber dem tatsächlichen Straßennetz unterrepräsentiert sind. Dafür spricht auch der erhöhte Anteil der Abendstunden in der Querschnittszählung, der vermutlich auf eine zu hohe Gewichtung von Straßen mit Einzelhandelseinrichtungen zurückzuführen ist.
- Denkbar ist eine räumlich dispersere Struktur des Fußverkehrs in den Morgenstunden. Die ausgezählten Querschnitte fokussieren verhältnismäßig stark auf Stellen mit gebündelt auftretendem Fußverkehr und umfassen nur Hauptverkehrsstraßen des KFZ-Verkehrs. Dagegen wird flächig auftretender Fußverkehr (z.B. in Nebenstraßen) nur an einzelnen Stellen erfasst. Möglicherweise spielt dieser aber in den Morgenstunden aufgrund der dann relevanten Wegezwecke (z.B. Zugang zu Haltestellen des ÖV im Berufsverkehr) eine größere Rolle als zu den anderen Tageszeiten.

- Die pauschal angesetzten Längen der Etappen in Zu- und Abgang zu ÖV und MIV sind nur grobe Anhaltswerte. Bspw. umfasst die Angabe von 100 für den Fußverkehrsanteil der MIV-Wege den Entfernungsbereich von 25 m bis 150 m. Allerdings bleiben die obigen Ergebnisse (v.a. die Differenz in der Morgenspitze sowie ein höherer Anteil abends bei der Querschnittserhebung) auch bei ausschließlicher Betrachtung der Wege mit dem Hauptverkehrsmittel „Zu Fuß“ gültig.
- In obiger Betrachtung wird eine Gleichverteilung der Wege- und Etappenlängen über den Tag unterstellt. Plausibel wäre allerdings auch, dass in der – vor allem vom Berufsverkehr dominierten – Morgenspitze für die Verkehrsteilnehmer der Faktor „Zeit“ eine größere Rolle spielt und dementsprechend bei längeren Wegen häufiger auf andere Verkehrsmittel umgestiegen wird. Dem gegenüber gewinnt ab dem Mittag bspw. der Freizeitverkehr an Bedeutung, bei dem von einer größeren Akzeptanz auch längerer Fußwege auszugehen ist.
- Wie bereits oben diskutiert existiert vermutlich je nach Wegezweck eine unterschiedliche Untererfassung der Fußwege durch SrV. Aufgrund der im Laufe eines Tages wechselnden Bedeutung der Wegezwecke für das Gesamtverkehrsaufkommen hätte dies zwangsläufig auch eine Änderung der Abweichungen im Verlauf des Tages zur Folge. Ein wesentlicher Grund dafür könnte in der Art der Erhebung des SrV liegen: Erfasst werden nur Fußwege, die von den befragten Personen selbst angegeben werden. Denkbar ist, dass Fußwege bei bestimmten Wegezwecken (bspw. die morgens bedeutsamen Wegezwecke Arbeit oder Bildung) eher als eigenständige Wege wahrgenommen und berichtet werden als z.B. die nachmittags bedeutsamen Wege zwischen Einzelhandels- oder Freizeiteinrichtungen.

Was die Ursachen für die dokumentierten Differenzen zwischen Querschnittserhebung und Haushaltsbefragung sind, kann hier nicht abschließend geklärt werden. Damit bleibt auch unklar, welche der beiden Methoden die „echte“, also eher der Realität entsprechende Verkehrsleistung des Fußverkehrs besser abbildet.

Wichtigste Ursachen für die beobachteten Abweichungen und damit Grund für die eingeschränkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind

- eine (sich über den Tag verändernde) Untererfassung der Fußwege durch SrV,
- die fehlende Erfassung von Etappenlängen in SrV, sowie
- eine womöglich fehlende Repräsentativität der für die Querschnittszählungen ausgewählten Straßenabschnitte.

5.9 Zusammenfassung

Die Unterschiede zwischen verschiedenen Querschnitten fallen deutlich größer aus als bspw. beim KFZ-Verkehr. Dies ist neben der unterschiedlichen Charakteristik der Verkehrsarten (z.B. Anteil der Wegezwecke, differierende Altersverteilung) vor allem durch den kleinräumigen Bezug des Fußverkehrs sowie die deutlich größere Variabilität der Routenwahl begründet, die zu einer weniger stark ausgeprägten Bündelung der Verkehrsströme führen.

Bei allen o.g. Arten der Klassifizierung von Ganglinien sind deutliche Überlappungen zwischen den jeweiligen Klassen feststellbar. Auch zwischen Zählstellen, die bzgl. Siedlungsstruktur, Umfeldnutzung etc. ähnlich sind, existieren erhebliche Unterschiede. Ein einzelnes Merkmal, mit dem sich die Ganglinien trennscharf einteilen lassen (bzw. bei dem umgekehrt vom Vorhandensein des Merkmals auf eine spezifische Ganglinie geschlossen werden kann) findet sich zumindest unter den hier untersuchten Kriterien nicht. Da diese Kriterien bereits zahlreiche der für die Charakterisierung eines Straßenabschnitts sinnvollen Merkmale einbeziehen, ist es zweifelhaft, dass ein derartiges singuläres Merkmal (auch außerhalb der hier berücksichtigten Charakteristika) existiert.

Eventuell könnte eine trennscharfe Klassifizierung der Ganglinien mittels multikriterieller Modelle erfolgen. Dies würde allerdings zum einen den Umfang dieser Arbeit übersteigen, zum anderen reicht die verfügbare Stichprobengröße für derartige Analysen nicht aus.

Die größten Unterschiede bzgl. der Ganglinien der absoluten Aufkommen gibt es bei der Klassierung nach Umfeldfaktor. Dort unterscheidet sich die Klasse der Zählstellen mit einem Umfeldfaktor von über 2,5 deutlich von den untereinander ähnlichen drei Klassen mit Querschnitten mit einem Umfeldfaktor unter 2,5 (vgl. Abschnitt 5.3).

Die deutlichste Differenzierung der relativen Ganglinien (Anteil der gleitenden Stunden am Tagesverkehr) tritt bei der Klassifizierung nach Siedlungsstruktur auf (vgl. Abschnitt 5.4.1). Dort heben sich vor allem die innerstädtischen Querschnitte durch einen späten Anstieg des Verkehrsaufkommens morgens, eine deutlich ausgeprägte Mittagsspitze sowie eine spätere Nachmittagsspitze ab. Die Ganglinien der Klassen Vorstadt und Stadtrand unterscheiden sich zum einen in der am Stadtrand fehlenden, im Vorstadtbereich vorhandenen Morgenspitze, zum anderen im am Abend früher beginnenden Abfall des Fußverkehrsaufkommens.

Auch bei der Differenzierung nach der Häufigkeit von Einzelhandelseinrichtungen (vgl. Abschnitt 5.5.4) zeigen sich sowohl bzgl. der absoluten, wie auch der relativen Aufkommen deutliche Unterschiede zwischen den Ganglinien. Zu beachten ist bei dieser Einteilung die qualitative Erfassung der Einzelhandelseinrichtungen.

Zwischen der aus den Querschnittszählungen ermittelte Ganglinie und der aus dem SrV ableitbaren zeitlichen Verteilung bestehen vor allem in den Morgenstunden Differenzen. Die in den Daten aus der Mobilitätserhebung enthaltene Morgenspitze fehlt in der Querschnittserhebung. Ab etwa 9 Uhr stimmen die Ergebnisse beider Erhebungen gut überein, wobei in den späten Nachmittagsstunden die stündlichen Anteile des Aufkommens bei der Querschnittszählung gegenüber den Daten aus dem SrV leicht erhöht sind.

Bei mehreren Querschnitten haben einzelne Merkmale eines typischen Tagesablaufs wahrnehmbare, kurzfristige Auswirkungen auf die Ganglinien. Dazu gehört neben dem Beginn und Ende des Unterrichts an Schulen auch die Mittagspause in Gebieten mit hoher Arbeitsplatzdichte.

Über die letzten Jahrzehnte kam es zu Veränderungen in der zeitlichen Verteilung des Fußverkehrsaufkommens. Insbesondere umfasst die auch weiterhin i.d.R. am späten Nachmittag liegende Spitzenstunde heute einen geringeren Anteil des Tagesverkehrs. Dafür dauert die nachmittägliche Spitze länger und das Fußverkehrsaufkommen geht am Abend (nach 18 Uhr) langsamer zurück als in früheren Erhebungen festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass eine wesentliche Ursache hierfür in der Liberalisierung der Ladenöffnungszeiten seit Anfang der 1990er Jahre liegt.

Bei der Zusammenfassung aller Zählstellen (vgl. Abbildung 26) zeigt sich, dass der Fußverkehr insgesamt

- nur verhältnismäßig schwach ausgeprägte Spitzen bildet (bspw. im Vergleich zu den deutlicher über den sonstigen Tagesverkehr hinausgehenden Spitzen beim KFZ-Verkehr);
- über keine ausgeprägte Frühspitze verfügt (diese je nach Örtlichkeit aber durchaus vorhanden sein kann, während an anderen Querschnitten ein kontinuierlicher Anstieg bis zum Mittag stattfindet);
- zwei Spitzen am Mittag sowie späteren Nachmittag ausbildet, wobei erstere vor allem auf hohe Aufkommen an wenigen, stark frequentierten Zählstellen zurückzuführen ist (vgl. Abschnitt 5.5.3). Dem gegenüber entsteht die Nachmittagsspitze

durch die zur dieser Zeit stattfindende Überlagerung von Wegezwecken und den daraus resultierenden hohen Aufkommen an den meisten Zählquerschnitten.

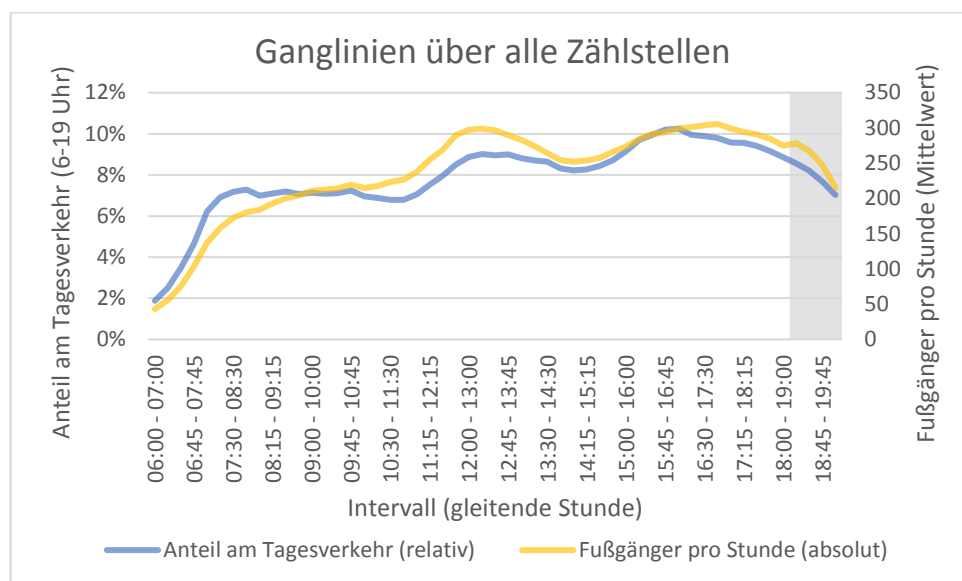


Abbildung 26 Gemittelte Ganglinien über alle Zählstellen (gleitende Stunden); n = 30, nach 19 Uhr n = 23; die Ganglinien bei Verwendung normaler, vollständiger Stunden sind in Abbildung 40 im Anhang 2 dargestellt

6 HOCHRECHNUNG

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist auch der Mangel von im Rahmen von Planungen erhobenen Daten zum Fußverkehr und der daraus folgenden unzureichenden Berücksichtigung der Belange von Fußgängern. Ausgelöst wird dies auch durch das Fehlen geeigneter Hochrechnungsmethoden, die statt zeitaufwändigen Vollerhebungen Kurzzeitzählungen ermöglichen.

In diesem Kapitel soll deshalb ein in Deutschland anwendbares Hochrechnungsverfahren entwickelt werden. Dazu werden verschiedene, im Abschnitt 3.2 beschriebene Arten der Hochrechnung getestet. Aufgrund der nur geringen zur Verfügung stehenden Datenmenge (Anzahl an Zählquerschnitten sowie Beschränkung auf einen Tag pro Querschnitt) sind die ermittelten Hochrechnungsfaktoren und -verfahren zwangsläufig mit größeren relativen Fehlern behaftet.

Im Wesentlichen sollen zwei Verfahren getestet werden: Die Hochrechnung einzelner Stunden oder Stundengruppen (analog dem von [Zweibrücken 2005] entwickelten Verfahren) sowie die Hochrechnung regelmäßig über den Tag verteilter Kurzzeitzählungen (analog dem von [Maier 1984] für Anliegerstraßen angewendeten Verfahren). Durch die separate Ermittlung von Hochrechnungsfaktoren und den zugehörigen relativen Fehlern für 1-, 2- und 3-Stundenzählungen sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, je nach Zweck der Erhebung und der Hochrechnung diejenige Länge des Erhebungsintervalls zu wählen, die das Erreichen der geforderten Genauigkeiten mit möglichst geringem Aufwand gewährleistet.

Hierbei werden nur Zählstellen mit über 100 Fußgängern pro Stunde berücksichtigt ($n = 22$), da bei geringerem Fußverkehrsaufkommen starke Schwankungen in der zeitlichen Verteilung auftreten (vgl. Abschnitt 5.2). Dies entspricht zudem dem in [Zweibrücken 2005, S. 40 ff] gewählten Ansatz. Auf die Berücksichtigung der Zählstelle D9 wird weiterhin verzichtet (vgl. Abschnitt 0). Die Auswertung und Darstellung für die Hochrechnung auf Basis von 1- und 2-Stunden-Intervallen sowie die Angabe der relativen Fehler erfolgt in Anlehnung an [Zweibrücken 2005].

Auf Verwendung der im Kapitel 5 analysierten Klassierungen wird verzichtet. Zum einen wurde keine ausreichend trennscharfe Gruppierung der Ganglinien gefunden, zum anderen ist selbst bei gemeinsamer Berücksichtigung aller Querschnitte die Datenbasis gering. Eine

weitere Aufteilung der Zählstellen würde die Aussagekraft der Ergebnisse entsprechend deutlich zusätzlich reduzieren.

Die angewendeten 100 Fg/h erweisen sich bei den vorliegenden Zählzeiten als ein verhältnismäßig trennscharfes Kriterium auch für den Fall der Zählung nur einzelner Stunden. An allen Zählstellen mit im Schnitt weniger als 100 Fg/h wurden insgesamt zwischen 6 und 20 Uhr nur in vier (von 103) Einzelstunden mehr als 100 Fußgänger gezählt. An allen Zählstellen mit im Schnitt über 100 Fg/h waren es zwischen 7 und 20 Uhr¹⁰ nur 10 (von 280) Stunden, in denen die Zahl von 100 Fußgängern nicht erreicht wurde.

Bei einer nachträglichen Analyse unter Einbezug jener 8 ausgeschlossenen Zählstellen mit geringem Fußverkehrsaufkommen zeigte sich, dass die Berücksichtigung aller Zählstellen wie zu erwarten vor allem größere relative Fehler zur Folge hat. Zwischen 13 und 19 Uhr sind die Änderungen sowohl der Hochrechnungsfaktoren, wie auch der zugehörigen relativen Fehler jedoch gering. Nur bei den Stunden vor 9 Uhr ergeben sich durch die Berücksichtigung auch schwach frequentierter Zählstellen deutliche Änderungen.

¹⁰ Von 6 bis 7 Uhr trat nur an einer Zählstelle ein Aufkommen von mehr als 100 Fußgängern auf.

6.1 Hochrechnung auf der Basis einzelner Stunden

Die Hochrechnungsmethode mit dem geringsten Erhebungsaufwand bei zu erwartenden vertretbaren relativen Fehlern ist die Extrapolation einer einzelnen Stunde auf den Tagesverkehr.¹¹ Voraussetzung dafür ist, dass für die Zählung diejenige Stunde ausgewählt wird, deren Anteil am Tagesverkehr zwischen den Zählstellen die geringsten Schwankungen aufweist.

Im folgenden Boxplot-Diagramm sind die durchschnittlichen Anteile der einzelnen Stunden am Tagesverkehr (6 - 19 Uhr) sowie deren Streuung dargestellt.¹²

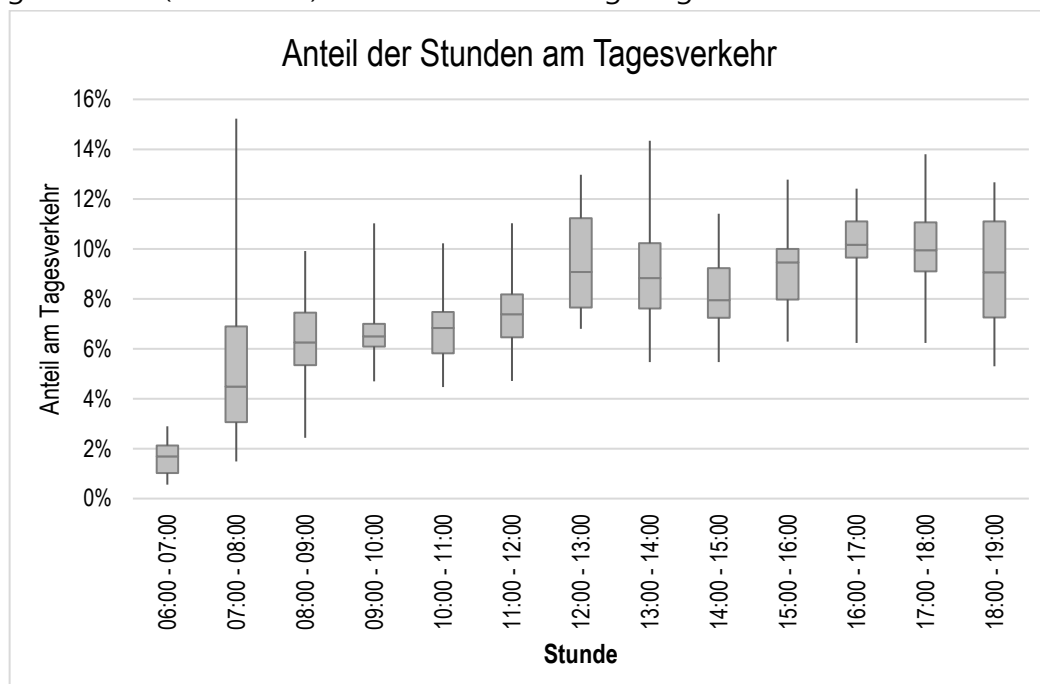


Abbildung 27 Anteil der Stunden am Tagesverkehr (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h); Boxplot-Diagramm, die Boxen enthalten 50 % der Werte

Die Stunde mit der geringsten Streuung (Standardabweichung (Std.-Abw.) des Anteils am Tagesverkehr) liegt zwischen 16 und 17 Uhr, zugleich weist diese mit 10,1% den höchsten

¹¹ Die Hochrechnung noch kürzerer Erhebungen – bspw. von 15- oder 30-Minuten-Zählungen – auf den Tagesverkehr lässt keine akzeptable Genauigkeit erwarten (vgl. auch [Zweibrücken 2005, S. 37 ff]).

¹² Auf den Einbezug der Anteile zwischen 19 und 20 Uhr wird aufgrund der für einige Zählstellen für diesen Zeitraum nicht verfügbaren Daten verzichtet. Im Durchschnitt aller Zählstellen mit über 100 Fg/h und erhobenen Daten nach 19 Uhr (n= 16) liegt der Anteil dieser Stunde bei 6,8% mit einer Standardabweichung von 2,2%. Dies entspricht einem Hochrechnungsfaktor von 14,7 mit den maximalen relativen Fehlern 33% (68% aller Querschnitte) bzw. 65% (95% aller Querschnitte).

Anteil am gesamten Fußverkehrsaufkommen auf. Der Faktor zur Hochrechnung einer Zählung¹³ von 16 bis 17 Uhr beträgt 9,9, wobei bei 68 % aller gezählten Querschnitte eine Abweichung von max. $\pm 15\%$ sowie bei 95 % aller Querschnitte eine Abweichung von max. $\pm 30\%$ zu erwarten ist.

Daneben bieten auch die angrenzenden Stunden – 14 bis 15 Uhr, 15 bis 16 Uhr sowie 17 bis 18 Uhr – eine vergleichsweise gute Basis für Hochrechnungen. Dass vor allem die (späteren) Nachmittagsstunden geringe Schwankungen zwischen den verschiedenen Zählstellen aufweisen ist insofern plausibel, als dass sich zu dieser Zeit verstärkt unterschiedliche Wegezwecke überlagern. Damit gleicht sich die an verschiedenen Zählstellen unterschiedliche Bedeutung der verschiedenen Wegezwecke aus.

Die Anteile aller Stunden am Tagesverkehr, daraus resultierende Hochrechnungsfaktoren sowie die zugehörigen Genauigkeiten sind in Tabelle 2 numerisch dargestellt.

| Stunde | Anteil am Tagesverkehr (Mittelwert) | Std.-Abw. | HR-Faktor | max. Fehler bei | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------|------------|-----------------|------------|
| | | | | 68% | 95% |
| 06:00 - 07:00 | 1,6% | 0,7% | 63,3 | 46% | 92% |
| 07:00 - 08:00 | 5,6% | 3,5% | 18,0 | 63% | 126% |
| 08:00 - 09:00 | 6,4% | 1,6% | 15,7 | 26% | 52% |
| 09:00 - 10:00 | 6,9% | 1,6% | 14,5 | 24% | 47% |
| 10:00 - 11:00 | 6,9% | 1,5% | 14,6 | 21% | 42% |
| 11:00 - 12:00 | 7,5% | 1,6% | 13,3 | 22% | 43% |
| 12:00 - 13:00 | 9,4% | 2,1% | 10,6 | 22% | 44% |
| 13:00 - 14:00 | 9,2% | 2,3% | 10,8 | 25% | 49% |
| 14:00 - 15:00 | 8,2% | 1,4% | 12,3 | 17% | 34% |
| 15:00 - 16:00 | 9,3% | 1,7% | 10,7 | 18% | 35% |
| 16:00 - 17:00 | 10,1% | 1,5% | 9,9 | 15% | 30% |
| 17:00 - 18:00 | 10,0% | 1,8% | 10,0 | 18% | 37% |
| 18:00 - 19:00 | 9,0% | 2,3% | 11,1 | 26% | 51% |

Tabelle 2 Hochrechnung auf der Basis von Einzelstunden (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

Vergleich mit Schweizer Hochrechnungsfaktoren

Beim Vergleich der hier für Deutschland erhobenen Hochrechnungsfaktoren mit den in [Zweibrücken 2005, S. 40] für die Schweiz ermittelten Werten zeigt sich eine überwiegend gute Übereinstimmung (vgl. Abbildung 28). Vor allem bei den für eine Hochrechnung besonders geeigneten Stunden am Nachmittag (15 bis 18 Uhr) weichen die Ergebnisse nur

¹³ Der Hochrechnungsfaktor entspricht jeweils dem Kehrwert des Anteils am Tagesverkehr.

gering voneinander ab. Die relativen Fehler der oben für Deutschland berechneten Faktoren sind durchgehend geringer als die der Schweizer Erhebung.

Dass Unterschiede sowohl bei den Anteilen der Stunden am Tagesverkehr, wie auch bei der Streuung zwischen den Zählquerschnitten auftreten, ist grundsätzlich plausibel. So haben sowohl der Fußverkehr wie auch der ÖV in Schweizer Städten in Relation zur Größe der Städte (teils erheblich) höhere Anteile am Modal Split [Städtevergleich 2012, S. 8]. Zudem gibt auch bei soziodemografischen Faktoren (z.B. Anteil Senioren, Anteil berufstätiger Personen (bspw. bei Elternteilen), Arbeitszeitmodelle usw.) Unterschiede zwischen beiden Ländern.

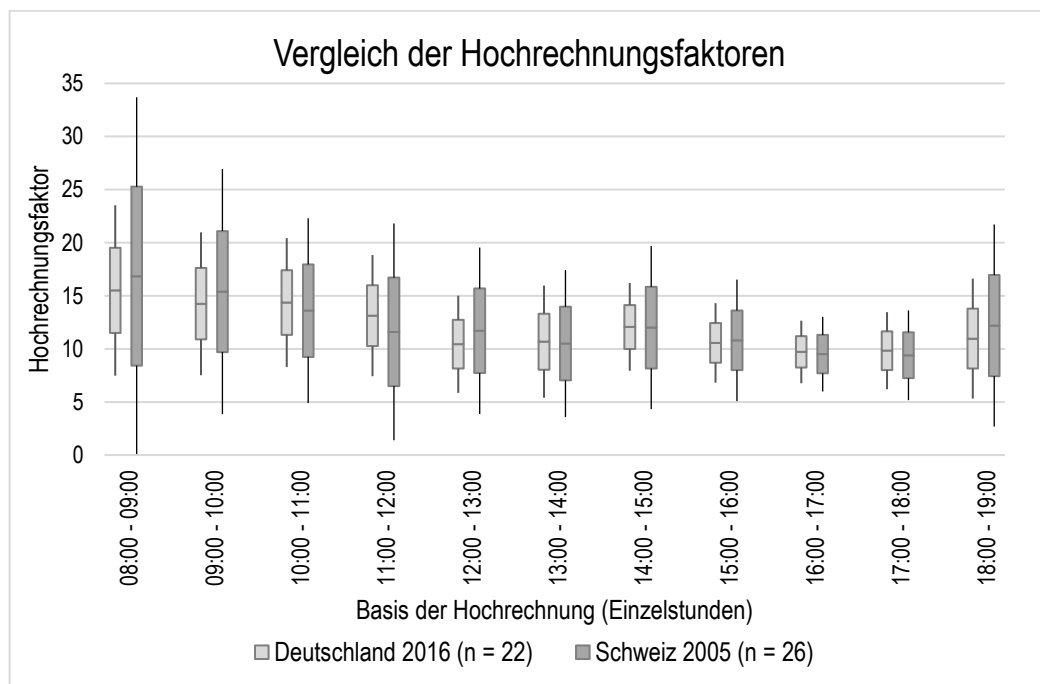


Abbildung 28 Vergleich der ermittelten Ergebnisse mit Hochrechnungsfaktoren aus der Schweiz [Zweibrücken 2005, S. 40]; die ermittelten Faktoren wurden zur besseren Vergleichbarkeit auf den in Zweibrücken 2005 angewendeten Zeitraum von 7 bis 19 Uhr angepasst; abgebildet sind die Hochrechnungsfaktoren (Mittelwerte) sowie die relativen Fehler an 68% (als Boxen) und 95% aller Zählstellen.

6.2 Hochrechnung auf der Basis von zwei-Stunden-Zählungen

Durch eine Verlängerung des Zählintervalls verbessert sich erwartungsgemäß die Genauigkeit der Hochrechnung. Da die Anteile der Stunden zwischen 14 bis 18 Uhr jeweils vergleichbare Genauigkeiten aufweisen (vgl. Tabelle 2), bieten sich alle 2-Stunden-Intervalle dieses Zeitraums als eine ähnlich gute Hochrechnungsbasis an. Die besten Ergebnisse erzielen die zwei Stunden zwischen 14 und 16 Uhr mit einem Hochrechnungsfaktor von 5,7 und zugehörigen relativen Fehlern von 13% (68% aller Zählstellen) und 26% (95% aller

Zählstellen). Alle Anteile am Tagesverkehr, daraus resultierende Hochrechnungsfaktoren sowie die zugehörigen Genauigkeitsmaße sind in Abbildung 29 sowie Tabelle 3 dargestellt.

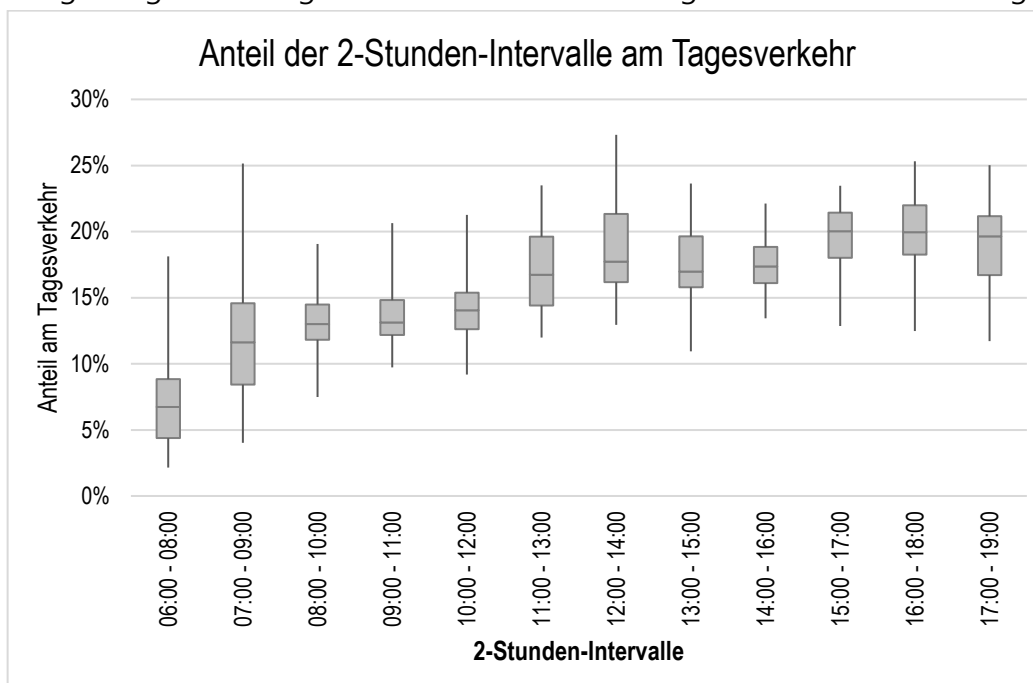


Abbildung 29 Anteil der 2-Stunden-Intervalle am Tagesverkehr (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h); Boxplot-Diagramm, die Boxen enthalten 50 % der Werte

| 2-Stunden-Intervall | Anteil am Tagesverkehr (Mittelwert) | Std.-Abw. | HR-Faktor | max. Fehler bei | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------|------------|-----------------|------------|
| | | | | 68% | 95% |
| 06:00 - 08:00 | 7,1% | 4,0% | 14,0 | 57% | 113% |
| 07:00 - 09:00 | 11,9% | 4,7% | 8,4 | 39% | 78% |
| 08:00 - 10:00 | 13,3% | 2,7% | 7,5 | 20% | 41% |
| 09:00 - 11:00 | 13,8% | 2,7% | 7,3 | 20% | 39% |
| 10:00 - 12:00 | 14,4% | 2,8% | 7,0 | 19% | 39% |
| 11:00 - 13:00 | 16,9% | 3,2% | 5,9 | 19% | 38% |
| 12:00 - 14:00 | 18,6% | 3,6% | 5,4 | 19% | 39% |
| 13:00 - 15:00 | 17,4% | 2,8% | 5,8 | 16% | 33% |
| 14:00 - 16:00 | 17,5% | 2,3% | 5,7 | 13% | 26% |
| 15:00 - 17:00 | 19,5% | 2,8% | 5,1 | 15% | 29% |
| 16:00 - 18:00 | 20,2% | 2,8% | 5,0 | 14% | 28% |
| 17:00 - 19:00 | 19,0% | 3,5% | 5,3 | 18% | 37% |

Tabelle 3 Hochrechnung auf der Basis von 2-Stunden-Zählungen (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

In [Zweibrücken 2005, S. 41 f] wird das beste Hochrechnungsergebnis bei der Zählung von 2 Stunden mit der Aufteilung der beiden Zählstunden auf 10 bis 11 und 16 bis 17 Uhr erzielt. Grundsätzlich dürften zusammengesetzte 2-Stunden-Intervalle bei einer Zählung vor

Ort weniger praktikabel sein als zusammenhängende Stundengruppen, da die entsprechende Zählstelle mehrfach aufgesucht werden muss. Vorteilhaft ist dagegen, dass durch die Kombination geeigneter Stunden mehrere Zählstellen an einem Tag mit akzeptabler Genauigkeit gezählt werden können, wobei sich dann Hochrechnungsfaktoren und die zugehörigen relativen Fehler zwischen den Querschnitten unterscheiden.

Ohne Berücksichtigung der mit starken Schwankungen behafteten Stunden von 6 bis 8 Uhr ergeben sich bis 19 Uhr insgesamt 55 mögliche 2-Stunden-Kombinationen. Die Zusammensetzungen, die auf Grundlage der vorliegenden Daten die geringsten relativen Fehler erwarten lassen, sind in Tabelle 8 Im Anhang 8.3 einschließlich der zugehörigen Kennwerte dargestellt. Einige Stundengruppen lassen dabei geringere Fehler erwarten als das o.g. zusammenhängende Intervall von 14 bis 16 Uhr. Das beste Ergebnis erzielt die Kombination der Stunden von 12 bis 13 und 16 bis 17 Uhr mit einem Hochrechnungsfaktor von 5,1 sowie relativen Fehlern von maximal 7% (68% aller Zählstellen) bzw. 15% (95% aller Zählstellen).

6.3 Hochrechnung auf der Basis von 3-Stunden-Zählungen

Die weitere Verlängerung des Zählintervalls auf 3 Stunden hat ebenso eine weitere Verbesserung der Genauigkeit zur Folge. Das beste Ergebnis liefert hierbei das 3-Stunden-Intervall von 13 bis 16 Uhr mit einem Hochrechnungsfaktor von 3,7 sowie maximalen Fehlern von 10 % bei 68% aller Querschnitte und 20 % bei 95% aller Querschnitte.

Die Kennzahlen der Hochrechnung von 3-Stunden-Intervallen sind in Tabelle 4, die zugehörige die grafische Darstellung der Anteile der Intervalle am Tagesverkehr in Abbildung 41 im Anhang 8.3 enthalten.

| 3-Stunden-Intervall | Anteil am Tagesverkehr (Mittelwert) | Std.-Abw. | HR-Faktor | max. Fehler bei | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------|------------|-----------------|------------|
| | | | | 68% | 95% |
| 06:00 - 09:00 | 13,5% | 5,2% | 7,4 | 39% | 78% |
| 07:00 - 10:00 | 18,8% | 4,9% | 5,3 | 26% | 52% |
| 08:00 - 11:00 | 20,1% | 3,3% | 5,0 | 17% | 33% |
| 09:00 - 12:00 | 21,3% | 3,7% | 4,7 | 17% | 35% |
| 10:00 - 13:00 | 23,8% | 4,1% | 4,2 | 17% | 35% |
| 11:00 - 14:00 | 26,1% | 4,5% | 3,8 | 17% | 34% |
| 12:00 - 15:00 | 26,8% | 4,1% | 3,7 | 15% | 31% |
| 13:00 - 16:00 | 26,7% | 2,6% | 3,7 | 10% | 20% |
| 14:00 - 17:00 | 27,6% | 3,3% | 3,6 | 12% | 24% |
| 15:00 - 18:00 | 29,5% | 3,8% | 3,4 | 13% | 26% |
| 16:00 - 19:00 | 29,1% | 4,1% | 3,4 | 14% | 28% |

Tabelle 4 Hochrechnung auf der Basis von 3-Stunden-Zählungen (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

6.4 Hochrechnung auf Basis regelmäßiger 15-Minuten-Zählungen

Das in [Maier 1984] angewendete Hochrechnungsverfahren mit Zählung von je einem 10-Minuten-Intervall pro Stunde und Zählstelle kann in dieser Arbeit nur in abgewandelter Form angewendet werden, indem statt 10-Minuten-Intervalle die gezählten 15-Minuten-Intervalle als Basis verwendet werden. Es wird wiederum der gesamte Tagesverkehr von 6 bis 19 Uhr einbezogen.

In Tabelle 5 sind die sich bei Addition jeweils aller 1., 2., 3. und 4. Viertelstunden ergebenden Anteile am Tagesverkehr, die daraus resultierenden Hochrechnungsfaktoren sowie die zugehörigen Kennwerte der Genauigkeiten angegeben.

Der zu erwartende Hochrechnungsfaktor von 4,0 wird in etwa bei allen Viertelstunden erreicht. Die maximalen Fehler liegen mit 5 bis 6% (68% aller Querschnitte) und 10 bis 13% (95% aller Querschnitte) ebenfalls in einer ähnlichen Größenordnung und damit deutlich unter den entsprechenden Kennwerten bei Hochrechnung von 1-, 2- der 3-Stunden-Intervallen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Ergebnisse auch bei Verschiebung der 15-Minuten-Intervalle (bspw. auf die Minuten 25 bis 40 jeder Stunde) weiter gelten.

| Viertelstunde | Anteil am Tagesverkehr (Mittelwert) | Std.-Abw. | HR-Faktor | max. Fehler bei | |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------------|-----|
| | | | | 68% | 95% |
| 0:00 - 0:15 (1. Viertelstunde) | 24,4% | 1,3% | 4,1 | 5% | 11% |
| 0:15 - 0:30 (2. Viertelstunde) | 24,5% | 1,3% | 4,1 | 5% | 10% |
| 0:30 - 0:45 (3. Viertelstunde) | 25,5% | 1,6% | 3,9 | 6% | 13% |
| 0:45 - 1:00 (4. Viertelstunde) | 25,6% | 1,6% | 3,9 | 6% | 12% |

Tabelle 5 Hochrechnung auf den Tagesverkehr auf der Basis regelmäßiger 15-Minuten-Zählungen (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

Wesentlicher von Maier genannter Vorteil und damaliger Grund für die Nutzung dieser Methode ist die gegenüber einer den gesamten Zeitraum von 6 bis 19 Uhr umfassenden Zählung bestehende Möglichkeit, durch eine Person drei nahe beieinander liegende Zählstellen vor Ort an einem Tag zu erfassen. Eine Notwendigkeit für die Anwesenheit vor Ort besteht beim Einsatz von Kameras und anschließender computergestützter Auswertung i.d.R. nicht, insofern ist die räumliche Nähe der Zählquerschnitte zueinander ebenso wie die Erfassung versetzter 15-Minuten-Intervalle nicht mehr erforderlich. Dafür bietet sich in diesem Fall die Möglichkeit, den Zeit- und Kostenaufwand zur Auswertung der Videos deutlich zu reduzieren, indem pro Stunde Videomaterial nur noch eine Viertelstunde ausgezählt wird. Insbesondere, wenn das Ziel primär in der Erhebung der Größenordnung des Fußverkehrsaufkommens besteht (bspw. für die Analyse von Zusammenhängen zwischen Aufkommen und Kennziffern des Unfallgeschehens), kann auf diese Weise bei gleichem Aufwand eine gegenüber einer Vollerhebung deutlich größere Datenbasis geschaffen werden.

Gegenüber den o.g. Hochrechnungen mit Erfassung von 1-, 2-, oder 3-Stunden-Intervallen erweist sich die regelmäßige Zählung kürzerer Intervalle als deutlich genauer, was im Wesentlichen aus der mit dieser Methode erfolgenden Abbildung der unterschiedlichen zeitlichen Schwankungen (Ganglinien) an verschiedenen Zählstellen resultiert. Nachteilig ist der größere zeitliche Aufwand pro Zählstelle: Bei Zählung direkt vor Ort ist bei Erfassung dreier nahe beieinander liegender Zählstellen (Dauer des Weges von einem Zählquerschnitt zum nächsten unter 5 Minuten) pro Zählstelle Zählpersonal für 4:20 h erforderlich (13 h, verteilt

auf drei Zählstellen). Bei videogestützter Erhebung entspricht der Zeitaufwand für die Auswertung in etwa der 3-Stunden-Zählung.

6.5 Ermittlung von Ganglinien durch Kurzzeitzählungen

Die im Kapitel 5 analysierten Ganglinien beruhen auf vollständigen Zählungen von 6 bis (mindestens) 19 Uhr. Wie oben gezeigt, bietet die Hochrechnung auf Basis regelmäßiger 15-Minuten-Zählungen eine Möglichkeit zur verhältnismäßig präzisen Ermittlung des Gesamtverkehrsaufkommens. Im Folgenden soll deshalb auch untersucht werden, welche Genauigkeiten bei der Erhebung von Tagesganglinien durch die Erfassung von jeweils nur einem 15-Minuten-Intervall pro Stunde erreicht werden kann.

Dabei dient dieses 15-Minuten-Intervall als Repräsentant jeweils einer Stunde, das Aufkommen dieser Stunde ergibt sich durch die Multiplikation der Kurzzeitzählung mit 4. Der Anteil dieser Stunde am Tagesverkehr entspricht dem Anteil des jeweiligen 15-Minuten-Intervalls an der Summe aller gezählten Intervalle. Unter der Bedingung ausreichender Genauigkeit ließe sich damit der Aufwand zur Erhebung von Ganglinien deutlich verringern. Allerdings ist auf diese Weise die Erhebung gleitender Stundenwerte, wie sie in Kapitel 5 verwendet wurden, nicht möglich.

Wie zu erwarten ist die Genauigkeit bei den jeweils mittleren beiden Viertelstunden etwas besser als beim ersten und vierten 15-Minuten-Intervall, da die mittleren Zeiträume das mittlere Aufkommen innerhalb der Stunde besser abbilden. Bei Verwendung der üblichen Stundeneinteilung sind dementsprechend die 15-Minuten-Intervalle von 15 bis 30 und 30 bis 45 Minuten die beste Grundlage. Dies kann durch die Angabe verschobener Stunden umgangen werden. In diesem Fall repräsentieren auch die dann mittleren Viertelstunden die jeweilige Stunde mit der höchsten Genauigkeit (bspw. Verwendung des Intervalls von 8:00 bis 8:15 als Basis für die Stunde 7:30 bis 8:30 Uhr statt für die Stunde 8:00 bis 9:00 Uhr).

In der Abbildung 30 sind beispielhaft die mittleren prozentualen Abweichungen der Einzelstunden bei Hochrechnung des jeweiligen dritten 15-Minuten-Intervalls pro Stunde dargestellt. Hohe Abweichungen sind dabei i.d.R. auf kurzzeitige Spitzen zurückzuführen und treten damit häufig an Zählstellen auf, die als Zuwegung zu größeren Einrichtungen (z.B. Schulen) mit festem Beginn oder Ende von Veranstaltungen o.ä. dienen.

Besonders hohe Abweichungen ergeben sich unabhängig von der betrachteten Viertelstunde in der Morgenspitze vor 8 Uhr sowie mittags, meist zwischen 13 und 14 Uhr. Bis auf eine Ausnahme treten Abweichungen von mehr als 5 Prozentpunkten nur an Schulstandorten (einschließlich einem Hochschulstandort) und dort ausschließlich zu Beginn und Ende der Unterrichtszeiten auf.

Insgesamt lassen sich über die durchgehende Zählung von je einem 15-Minuten-Intervall pro Stunde Ganglinien mit einer Abweichung von unter ± 2 Prozentpunkten bestimmen, wobei dabei die beiden mittleren Viertelstunden als Basis vorzuziehen sind. Sofern es die geforderte Genauigkeit zulässt, kann damit der Aufwand zur Erhebung der zeitlichen Verteilung des Fußverkehrsaufkommens gegenüber einer Vollerhebung deutlich reduziert werden. Diese Methode sollte allerdings nicht an Querschnitten angewendet werden, an denen sehr kurze Spitzen zu erwarten sind (z.B. durch Beginn und Ende des Unterrichts nahegelegener Schulen).

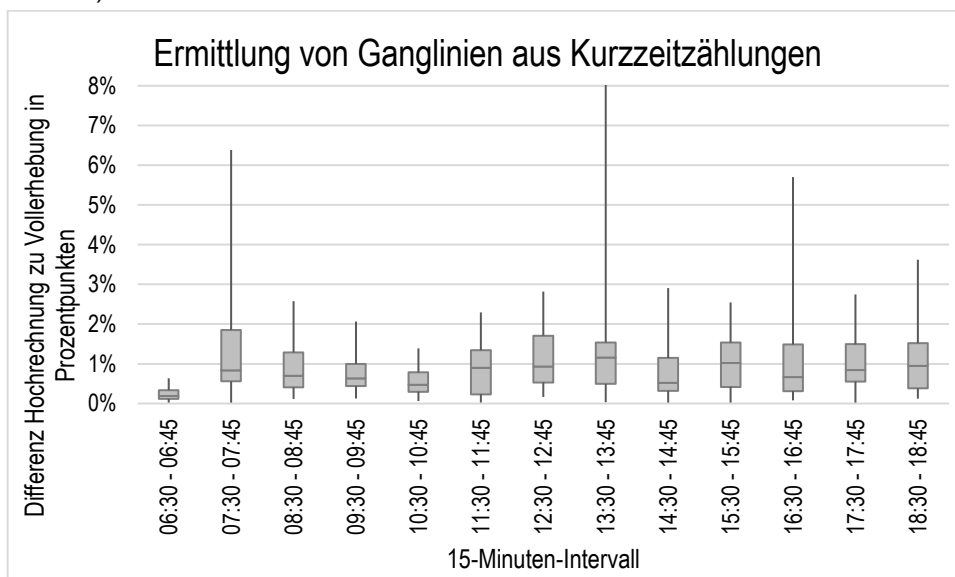


Abbildung 30 Genauigkeit der Ermittlung von Ganglinien aus Kurzzeitmessungen: Mittlere absolute Abweichung der tatsächlichen Anteile am Tagesverkehr zum aus je einer 15-Minuten-Zählung pro Stunde ermittelten Anteil in Prozentpunkten; Zählstellen mit > 100 Fg/h, $n = 22$; Das Diagramm ist zur besseren Erkennbarkeit oben abgeschnitten, die maximale Abweichung bei Hochrechnung auf der Basis von 13:30 bis 13:45 liegt bei 15,8%; die Boxen umfassen 50% der Werte.

6.6 Aufkommen in der Spitzenstunde

In der Praxis tritt unter Umständen das Problem auf, das Aufkommen an Fußgängern in der Spitzenstunde bestimmen zu müssen, ohne die Lage der Spitzenstunde innerhalb des Tages zu kennen (vgl. auch Abschnitt 5.7). Bspw. enthalten die *Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen* Grenzwerte für die Zulässigkeit von Fußgängerüberwegen, die sich nach dem Fußverkehrsaufkommen in der Spitzenstunde richten [R-FGÜ 2001, S. 37].

In der folgenden Tabelle 6 sind deshalb Faktoren angegeben, mit denen auf Basis der in Einzelstunden gezählten Zahl an Fußgängern das Aufkommen in der (gleitenden) Spitzenstunde überschlägig ermittelt werden kann. Berücksichtigt werden analog der obigen Analyse nur Zählstellen mit im Mittel über 100 Fg/h. Die entsprechenden Kennwerte für 2- und 3-Stunden-Zählungen sind in den Tabellen 9 und 10 im Anhang 8.3 enthalten.

| Stunde | Mittelwert (HR-Faktor) | Std.-Abw. | max. Fehler bei | |
|-----------------|---------------------------|-----------|-----------------|------|
| | | | 68% | 95% |
| der Zählstellen | | | | |
| 06:00 - 07:00 | 10,5 | 6,3 | 60% | 121% |
| 07:00 - 08:00 | 3,3 | 2,2 | 66% | 132% |
| 08:00 - 09:00 | 2,2 | 0,8 | 38% | 75% |
| 09:00 - 10:00 | 1,9 | 0,5 | 25% | 49% |
| 10:00 - 11:00 | 1,9 | 0,5 | 27% | 54% |
| 11:00 - 12:00 | 1,8 | 0,5 | 29% | 58% |
| 12:00 - 13:00 | 1,4 | 0,3 | 24% | 48% |
| 13:00 - 14:00 | 1,4 | 0,4 | 25% | 51% |
| 14:00 - 15:00 | 1,6 | 0,3 | 22% | 43% |
| 15:00 - 16:00 | 1,4 | 0,3 | 24% | 48% |
| 16:00 - 17:00 | 1,3 | 0,3 | 22% | 45% |
| 17:00 - 18:00 | 1,3 | 0,3 | 25% | 51% |
| 18:00 - 19:00 | 1,5 | 0,5 | 33% | 65% |

Tabelle 6 Faktoren zur überschlägigen Ermittlung des Aufkommens in der (gleitenden) Spitzenstunde auf der Basis von Einzelstunden (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

6.7 Fazit

Aus den in dieser Arbeit zur Verfügung stehenden Daten zum Fußverkehrsaufkommen können Hochrechnungsfaktoren zur Extrapolation von Kurzzeitzählungen auf Aufkommen am Tag einschließlich der zugehörigen relativen Fehler abgeleitet werden. Grundlage bilden Zählungen von je einem Tag an 22 Querschnitten mit im Durchschnitt über 100 Fg/h in deutschen Großstädten mit über 500.000 Einwohner.

Die Hochrechnungsfaktoren sowie die zu erwartenden Fehler für die am besten geeigneten Erhebungsintervalle, die als Basis für eine Hochrechnung dienen können, sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Die Dauer der Zählung sollte auf Grundlage des Zwecks der Erhebung und der daraus abgeleiteten Anforderung an die Genauigkeit der Hochrechnung ausgewählt werden. Unabhängig von der Dauer der Zählung empfiehlt sich bei Verwendung eines zusammenhängenden Erhebungsintervalls eine Zählung nachmittags. Es ist davon auszugehen, dass die Ursache für die besondere Eignung der nachmittäglichen Stunden als Hochrechnungsbasis in der zu dieser Zeit auftretenden Überlagerung unterschiedlicher Wegezwecke liegt, da dies die an unterschiedlichen Querschnitten differierende Bedeutung verschiedener Wegezwecke ausgleicht.

Da die Erhebungen an Normalwerktagen in Wochen ohne Feiertage oder Ferien in den Sommermonaten durchgeführt wurde, gelten auch die Hochrechnungsfaktoren nur für entsprechende Zähltage.

| Länge des Intervalls | Intervall (Uhrzeit) | HR-Faktor | max. Fehler bei | |
|----------------------|---------------------|-----------|-----------------|-----|
| | | | 68% | 95% |
| | | | der Zählstellen | |
| 1 h | 16 - 17 | 9,9 | 15% | 30% |
| 1 h | 14 - 15 | 12,3 | 17% | 34% |
| 2 h | 14 - 16 | 5,7 | 13% | 26% |
| 2 h | 16 - 18 | 5,0 | 14% | 28% |
| 1 h + 1 h | 12 - 13 und 16 - 17 | 5,1 | 7% | 15% |
| 1 h + 1 h | 08 - 09 und 14 - 15 | 6,9 | 9% | 18% |
| 3 h | 13 - 16 | 3,7 | 10% | 20% |
| 3 h | 14 - 17 | 3,6 | 12% | 24% |

Tabelle 7 Zusammenfassung der Kennwerte der Hochrechnungen

Für die Umrechnung des Zeitraumes von 6 bis 19 Uhr auf das Verkehrsaufkommen des gesamten Tages (24 h) ergibt sich ein (statistisch nicht abgesicherter) Faktor von in etwa 1,18. Dieser resultiert zum einen aus der in dieser Arbeit empirisch ermittelten Erhöhung

des Verkehrsaufkommens um im Mittel 7,3% bei Verlängerung des Zählzeitraumes von 6 bis 19 auf 6 bis 20 Uhr¹⁴, zum anderen aus der Berücksichtigung des nächtlichen Verkehrsaufkommens, das in Anlehnung an die Literatur mit 10% angenommen wird (vgl. Abschnitt 3.5.1)¹⁵. Für einen statistisch abgesicherten Einbezug der Nachtstunden fehlen entsprechende Erhebungen. Zudem ist von stark unterschiedlichen Aufkommen nachts je nach Zählquerschnitt auszugehen, v.a. bei Straßenabschnitten mit zahlreichen Restaurants und Bars kann der Anteil der Nacht beträchtlich höher liegen.

Neben den genannten, auf Stunden basierenden Intervallen bieten regelmäßige, von 6 bzw. 7 bis 19 bzw. 20 Uhr¹⁶ dauernde Zählungen von je 15 Minuten pro Stunde eine Basis für eine verhältnismäßig genaue Hochrechnung (HR-Faktor 4,0; relative Fehler: 6% (68%) sowie 13% (95% aller Zählstellen)). Bei Beobachtung des Querschnitts per Video und anschließender Auswertung am Computer liegt der Erhebungsaufwand nur geringfügig höher als bei einer 3-Stunden-Zählung. Allerdings bietet diese Methode aufgrund der auf diese Weise erfolgenden Abbildung der zeitlichen Schwankung des Aufkommens über den Tag eine höhere Genauigkeit.

Die letztgenannte Methode mit Erhebung regelmäßiger 15-Minuten-Intervalle ermöglicht zudem die Erfassung von (Tages-)Ganglinien mit gegenüber einer Vollerhebung deutlich reduziertem Aufwand. Dazu sollten – da diese das durchschnittliche Aufkommen im Verlauf einer Stunde besser repräsentieren – die beiden mittleren Viertelstunden (Minuten 15 bis 30 sowie 30 bis 45) gewählt werden.

Aufgrund der Übereinstimmung der hier für Deutschland ermittelten Hochrechnungsfaktoren und den in der Schweiz 2005 erhobenen Daten (vgl. Abschnitt 6.2) sowie dem Fehlen stadtspezifischer Eigenarten (vgl. Abschnitt 5.6) ist unter Beachtung der nur geringen Datenbasis zumindest im Ansatz von der Allgemeingültigkeit der erhobenen Faktoren, bspw. für Städte unter 500.000 Einwohner, auszugehen.

¹⁴ Standardabweichung 2,6 Prozentpunkte; n = 16

¹⁵ Die angesprochene Literatur stammt aus der Zeit von der Liberalisierung der Ladenöffnungszeiten, entsprechend sind jene 10% heutzutage eher als Untergrenze anzusehen (vgl. Abschnitt 5.5.4).

¹⁶ Entgegen dem in diesem Kapitel verwendeten Erhebungszeitraumes ist die Stunde von 19 bis 20 Uhr wichtiger als die Stunde von 6 bis 7 Uhr, da sie einen höheren Anteil am Tagesverkehr enthält.

Nichtdestotrotz besteht hinsichtlich der Charakteristika des Fußverkehrs einschließlich der zeitlichen Verteilung des Aufkommens weiterer Forschungsbedarf. Dies betrifft insbesondere die Erhebung einer größeren Datenbasis zur Absicherung o.g. Hochrechnungsfaktoren.

Zwar wäre es wünschenswert, die Genauigkeit der Hochrechnungsmethoden durch die Zuordnung von Querschnitte zu Klassen mit ähnlichen Charakteristika der Ganglinien mit einfachen Merkmalen (z.B. Umfeldnutzung etc.) zu verbessern, was ebenfalls eine größere Datenmenge erfordern würde. Aufgrund der in Kapitel 5 vorgenommenen Analysen ist es allerdings zweifelhaft, dass ein derartiges eindimensionales Merkmal existiert. Ggf. kann dieses Problem durch die Anwendung multikriterieller Modelle gelöst werden. Des Weiteren fehlen aktuelle Daten zum (im Unfallgeschehen relevanten) nächtlichen Fußverkehrsaufkommen wie auch Untersuchungen zur Auswirkung des Wetters sowie Schwankungen im Wochenverlauf für Deutschland praktisch vollständig.

Für die Planung, Durchführung und Auswertung einer Erhebung zur Anwendung der Hochrechnungsfaktoren siehe zudem die praxisbezogenen Hinweise im Anhang 4.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [ALRUTZ 1999] Alrutz, D.; Bohle, W. (1999): *Flächenansprüche von Fußgängern*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Reihe Verkehrstechnik, V71)
- [Aultman-Hall 2009] Aultman-Hall, L.; Lane D.; Lambert R. (2009): *Assessing the Impact of Weather and Season on Pedestrian Traffic Volumes*, Transportation Research Board
- [AURICH 2012] Aurich, A. (2012): *Modelle zur Beschreibung der Verkehrssicherheit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßennetze unter besonderer Berücksichtigung der Umfeldnutzung*. Dresden: Dissertationsschrift an der Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der Technischen Universität Dresden
- [BOHLE 1995] Bohle, W. (1995): *Grundlagen zur Berücksichtigung des „Aufenthalts nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer“ bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen*. Bonn-Bad Godesberg: Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 716)
- [BRÖG 1999] Brög, W.; Erhard, E. (1999): *Kenngrößen für Fußgänger- und Fahrradverkehr*. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (Reihe Mensch und Sicherheit, M109)
- [Brög 2014] Brög, W. (2014): *Wollen Sie nur von Haltestelle zu Haltestelle oder auch zum Einkaufen?* In: *Mobilogisch* 1/2014
- [BRÖG 2017] Brög, W. (2017): *Das hauptsächlich vernachlässigte Verkehrsmittel. Die Bedeutung des Fußverkehrs und die Nutzung des Straßenraums*; Vortrag beim Bundesweiten Umwelt- und Verkehrskongress (BUVKO) am 10. März 2017; Online: <http://www.umkehr-fuss-online-shop.de/kostenlose-downloads/category/43-plenum-freitag.html?download=303:plenum-broeg> (Abruf: Mai 2017)
- [EFA 2002] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2002): *Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA 2002)*; Köln: FGSV-Verlag
- [EVE 2012] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2012): *Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE 2012)*; Köln: FGSV-Verlag

- [HEIDEMANN 1967] Heidemann, C. (1967): *Gesetzmäßigkeiten städtischen Fußgängerverkehrs*, Bad Godesberg: Kirschbaum-Verlag; Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 68
- [HBS 2001] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2001): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2001)*; Köln: FGSV-Verlag
- [LIU 2009] Liu, X.; Griswold, J. (2009): *Pedestrian Volume Modelling: A Case Study of San Francisco*; Association of Pacific Coast Geographers, Yearbook, Volume 71; Online: <https://pdfs.semanticscholar.org/880f/cfdcd61093bd54acc647fddaa8c45eab2b3b.pdf> (Abruf: Mai 2017)
- [LUZERN 2012] Stadt Luzern, Tiefbauamt (Hrsg.), Milena Scherer (2012): *Fussgängerzählungen Stadt Luzern – Brücken im Altstadtbereich*
- [MAIER 1984] Maier, R. (1984): *Fußgängersicherheit in Städten*; Dissertation an der Universität Karlsruhe
- [MID 2008A] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2010): *Mobilität in Deutschland 2008 – Kurzbericht*, Bonn und Berlin
- [MID 2008B] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2010): *Mobilität in Deutschland 2008 – Ergebnisbericht*, Bonn und Berlin
- [MIRANDA 2011] Miranda, S.; Carrasco, Y. (2011): *Pedestrian Volume Studies – A case study in the city of Gothenburg*, Göteborg, Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering
- [MONSE 2008] Monse, A. (2008): *Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Randnutzung, Sicherheit und nichtmotorisierten Verkehr im Städtischen Hauptverkehrsstraßennetz*, Dresden: Studienarbeit an der Professur für Straßenverkehrstechnik der TU Dresden
- [NORDBACK 2013] Nordback, K.; Marshall, W.; Janson, B. (2013): *Development of Estimation Methodology for Bicycle and Pedestrian Volumes based on existing Counts*, Denver, University of Colorado, Department of Civil Engineering

- [PINKOFSKY 2006] Pinkofsky, L. (2006): *Typisierung von Ganglinien der Verkehrsstärke und ihre Eignung zur Modellierung der Verkehrsnachfrage*; Aachen, Shaker Verlag: Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen an der TU Braunschweig, Heft 54
- [PURFÜRST 2014] Purfürst, M. (2014): *Analyse des Fußgängerbewegungsverhaltens an ausgewählten Stellen in Dresden*; Dresden: Studienarbeit an der Professur für Straßenverkehrstechnik der TU Dresden
- [R-FGÜ 2001] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2001): *Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ 2001)*; Köln: FGSV-Verlag
- [SAUTER 2016] Sauter, D.; Stadtherr, L.; Schmidt, R. (2016): *Fuß- und Veloverkehrs-Zählanlagen in der Schweiz – Eine Übersicht*; In: Info Bulletin, Zeitschrift der Velokonferenz Schweiz 1/2016; Biel/Bienne
- [SCHNEIDER 2009] Schneider, R.; Arnold, L.; Ragland, D. (2009): *A Pilot Model for Estimating Pedestrian Intersection Crossing Volumes*; Journal of the Transportation Research Board; Online: <https://pdfs.semanticscholar.org/f821/f5ac4e2e08ae785359c7b08a3f08f0ba99a6.pdf> (Abruf: Mai 2017)
- [SCHNEIDER 2013] Schneider, R.; Henry, T.; Mitman, M.; Stonehill, L.; Koehler, J. (2013): *Development and Application of the San Francisco Pedestrian Intersection Volume Model*; University of California, Safe Transportation Research and Education Center; Online: <https://escholarship.org/uc/item/8cs2g40c> (Abruf: Mai 2017)
- [SCHÜLLER 2010] Schüller, H. (2010): *Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung*. Dresden: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, Heft 12
- [SCHÜLLER 2010] Schüller, H. et al. (2016): *Systematische Untersuchung sicherheitsrelevanten Fußgängerverhaltens, Entwurf 2. Zwischenbericht*; Stuttgart/Dresden: PTV Transport Consult GmbH/IAPA Research im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen

- [STÄDTEVERGLEICH 2012] Basel, Bern, Luzern, St. Gallen, Winterthur, Zürich (Hrsg.) (2012): *Städtevergleich Mobilität – Vergleichende Betrachtung der Städte Basel, Bern, Luzern, St. Gallen, Winterthur und Zürich*; Online: http://www.mobilitaet.bs.ch/dms/mobilitaet/download/3_Gesamtverkehr/06_staedtevergleich_mobilitaet.pdf (Abruf: 27. Januar 2017)
- [SRV 2013A] TU Dresden (2015): *Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ – Städtevergleich*
- [SRV 2013B] TU Dresden (2015): *Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ – SrV-Stadtgruppe: Oberzentren 500.000 und mehr EW (ohne Berlin)*
- [Wien 2005] Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung (Hrsg.) (2005): *Auswertung der händischen Straßenverkehrszählung 2005 auf Gemeindestraßen A + B in Wien*
- [Wien 2010] Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 - Stadtentwicklung und Stadtplanung (Hrsg.) (2010): *FußgängerInnenzählung Wien 2010 – Ergebnisbericht*
- [Zürich 2016] Stadt Zürich, Tiefbauamt (Hrsg.) (2016): *Korrekturfaktoren: Automatische Zählgeräte (Fussverkehr)*; Stand: 12. Dezember 2016
- [ZWEIBRÜCKEN 2005] Zweibrücken, K.; Sauter, D.; Schweizer, T.; Stäheli, A.; Beaujean; K.: *Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs – Schlussbericht*; SVI-Forschung 2001/503

8 ANHANG

8.1 Anhang 1: Zählstellen

| Zähl- stelle | EFA | RASt | UF | Schule | Siedlungs- struktur | EHE | Uhrzeit Zählung | Mittleres Aufkommen 6-19 Uhr [Fg/h] | Spitzenstunde (gleitend) | |
|-----------------|-----|------|-----|---------|------------------------|--------------|--------------------|--|-----------------------------|--------|
| | | | | | | | | | Uhrzeit | Anteil |
| A3 | 6 | ÖGS | 2,9 | - | Stadttrand | - | 6-19 | 574 | 10:45 – 11:45 | 11,4% |
| A5 | 7 | ÖGS | 1,8 | - | Innenstadt | einige EHE | 6-20 | 440 | 13:00 – 14:00 | 14,3% |
| A9 | 4 | VS | 1,3 | - | Vorstadt | einige EHE | 6-20 | 257 | 17:15 – 18:15 | 13,3% |
| A10 | 3 | SS | 1,5 | GY | Vorstadt | keine EHE | 6-20 | 72 | 08:30 – 09:30 | 12,8% |
| A11 | 3 | SS | 1,6 | - | Stadttrand | keine EHE | 6-20 | 20 | 13:30 – 14:30 | 12,8% |
| A19 | 4 | ÖGS | 1,6 | - | Vorstadt | - | 6-19 | 269 | 11:45 – 12:45 | 11,9% |
| A22 | 7 | ÖGS | 1,6 | - | Vorstadt | viele EHE | 6-20 | 272 | 16:45 – 17:45 | 11,2% |
| A23 | 4 | ÖES | 1,1 | - | Stadttrand | einzelne EHE | 6-20 | 152 | 16:45 – 17:45 | 13,9% |
| A24 | 7 | QS | 2,6 | - | Innenstadt | - | 6-19 | 465 | 17:30 – 18:30 | 11,2% |
| A28 | 7 | ÖGS | 1,8 | - | Innenstadt | einzelne EHE | 6-20 | 369 | 12:00 – 13:00 | 12,9% |
| A29 | 9 | HGS | 1,1 | - | Innenstadt | einzelne EHE | 6-20 | 464 | 12:00 – 13:00 | 12,8% |
| A33 | 7 | ÖGS | 2,5 | - | Vorstadt | einige EHE | 6-20 | 193 | 15:00 – 16:00 | 11,9% |
| A34 | 7 | ÖGS | 2,5 | - | Vorstadt | einige EHE | 6-20 | 188 | 17:00 – 18:00 | 11,3% |
| C3 | 6 | ÖGS | 1,0 | GS; RS | Vorstadt | - | 6-19 | 161 | 13:30 – 14:30 | 12,7% |
| C7 | 5 | QS | 2,1 | - | Vorstadt | keine EHE | 6-20 | 262 | 15:30 – 16:30 | 12,6% |
| C7 | 5 | QS | 2,3 | - | Vorstadt | keine EHE | 6-20 | 182 | 15:30 – 16:30 | 12,6% |
| C10 | 3 | SS | 1,5 | - | Stadttrand | keine EHE | 6-20 | 26 | 15:00 – 16:00 | 12,4% |
| C14 | 7 | ÖGS | 2,8 | - | Stadttrand | viele EHE | 6-20 | 194 | 15:15 – 16:15 | 13,2% |
| C15 | 7 | ÖGS | 2,6 | GS | Stadttrand | viele EHE | 6-20 | 262 | 12:00 – 13:00 | 12,0% |
| C17 | 9 | ÖGS | 3,0 | - | Vorstadt | viele EHE | 6-20 | 695 | 16:45 – 17:45 | 12,2% |
| C21 | 5 | SS | 1,4 | - | Vorstadt | - | 6-19 | 146 | 15:45 – 16:45 | 12,9% |
| C22 | 5 | QS | 1,7 | GY | Vorstadt | - | 6-19 | 126 | 13:00 – 14:00 | 14,2% |
| C24 | 5 | QS | 1,7 | GS | Vorstadt | keine EHE | 6-20 | 62 | 07:30 – 08:30 | 13,5% |
| C29 | 5 | QS | 1,7 | GS | Vorstadt | - | 6-19 | 88 | 16:00 – 17:00 | 10,9% |
| C32 | 5 | QS | 2,1 | - | Vorstadt | keine EHE | 6-20 | 157 | 07:00 – 08:00 | 15,2% |
| D2 | 3 | ÖES | 1,2 | GS; IGS | Vorstadt | keine EHE | 6-20 | 47 | 16:00 – 17:00 | 15,5% |
| D3 | 6 | ÖGS | 1,6 | - | Vorstadt | einzelne EHE | 6-20 | 199 | 15:30 – 16:30 | 10,7% |
| D9 | G | GS | 1,2 | - | - | - | 6-20 | 221 | 12:00 – 13:00 | 31,4% |
| D11 | 3 | SS | 1,3 | - | Vorstadt | einzelne EHE | 6-20 | 58 | 17:30 – 18:30 | 13,0% |
| D13 | 9 | ÖGS | 2,6 | - | Innenstadt | viele EHE | 6-20 | 491 | 18:30 – 19:30 | 14,3% |
| D14 | 4 | QS | 2,1 | - | Stadttrand | keine EHE | 6-20 | 48 | 16:15 – 17:15 | 10,7% |

Legende siehe nächste Seite.

Legende

| | |
|----------------------|---|
| EFA | Kategorie gemäß Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen, Tabelle 2 |
| - 3 | - Wohnstraße, offene Bebauung |
| - 4 | - Geschlossene Bebauung, geringe Dichte |
| - 5 | - Geschlossene Bebauung, mittlere Dichte |
| - 6 | - Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung, mittlere Dichte |
| - 7 | - Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung, hohe Dichte |
| - 9 | - Geschäftsstraße |
| - G | - Gewerbestraße (nicht nach EFA klassifizierbar) |
| RASt | Kategorie gemäß Richtlinie zur Anlage von Stadtstraßen |
| - GS | - Gewerbestraße |
| - HGS | - Hauptgeschäftsstraße |
| - ÖES | - Örtliche Einfahrtsstraße |
| - ÖGS | - Örtliche Geschäftsstraße |
| - QS | - Quartiersstraße |
| - SS | - Sammelstraße |
| - VS | - Verbindungsstraße |
| UF | Umfeldfaktor (zur Definition vgl. Abschnitt 3.3.2) |
| Schule | Vorkommen von Schulen im Umfeld der Zählstelle (vgl. Abschnitt 5.5.2) |
| - GS | - Grundschule |
| - GY | - Gymnasium |
| - RS | - Realschule |
| - IGS | - Integrierte Gesamtschule |
| EHE | Anzahl Einzelhandelseinrichtungen (vgl. Abschnitt 5.5.4); Angabe erfolgt nur bei Zählstellen mit Erhebung nach 19 Uhr |
| Anteil Spitzenstunde | Anteil der gleitenden Spitzenstunde am Aufkommen von 6 bis 19 Uhr |

8.2 Anhang 2: Weitere Abbildungen

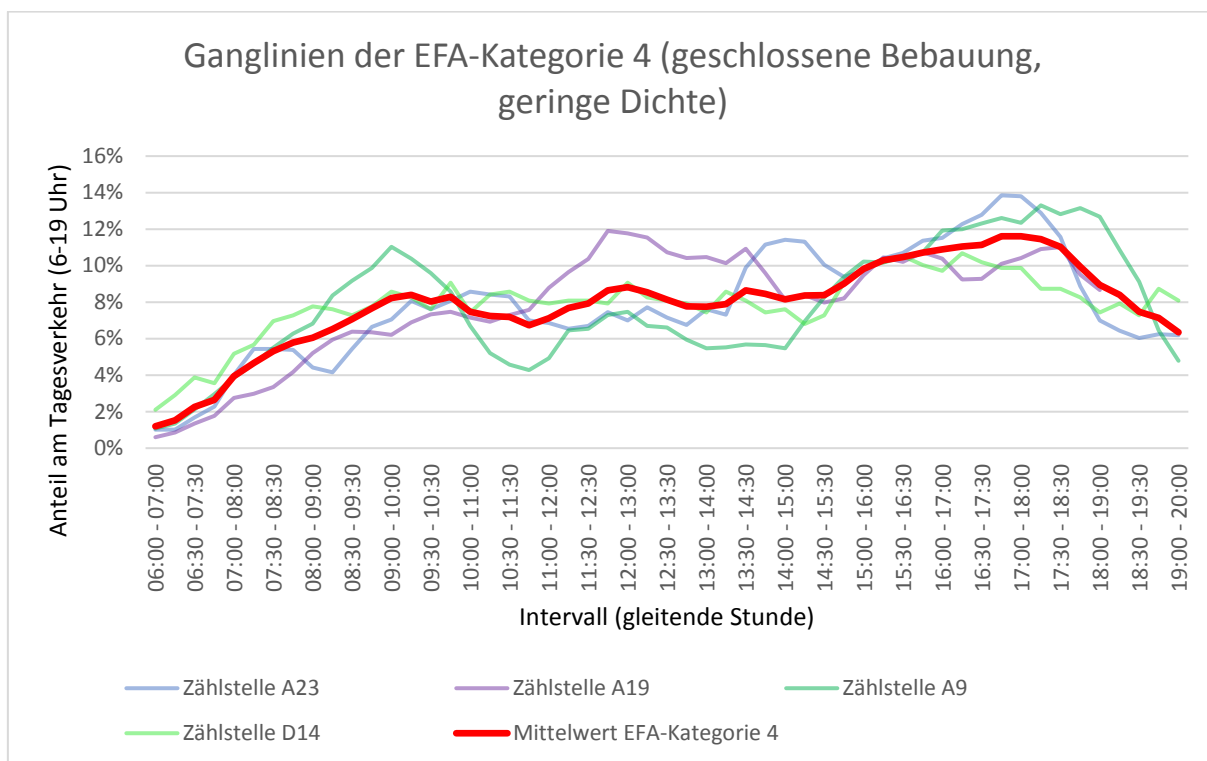


Abbildung 31 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 4 (geschlossene Bebauung, geringe Dichte); vgl. Abschnitt 5.2

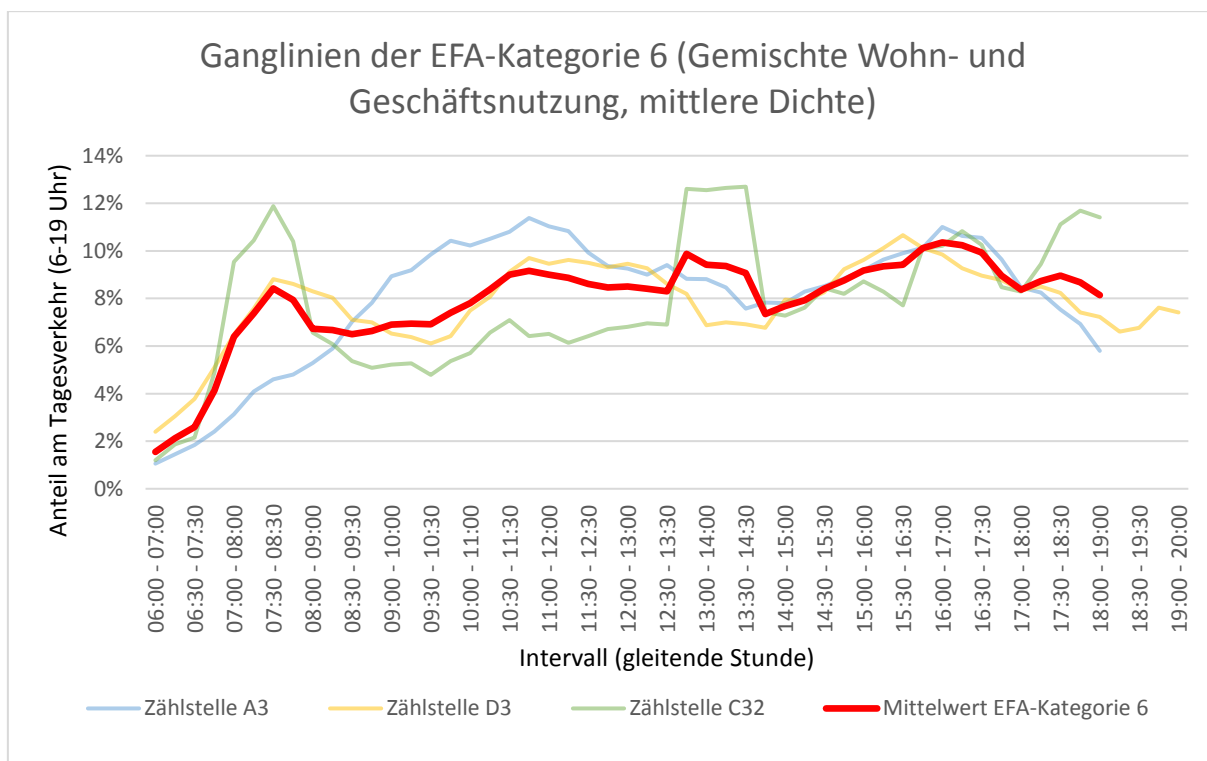


Abbildung 32 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 6 (Gemischte Wohn- und Geschäftsnutzung, mittlere Dichte); vgl. Abschnitt 5.2

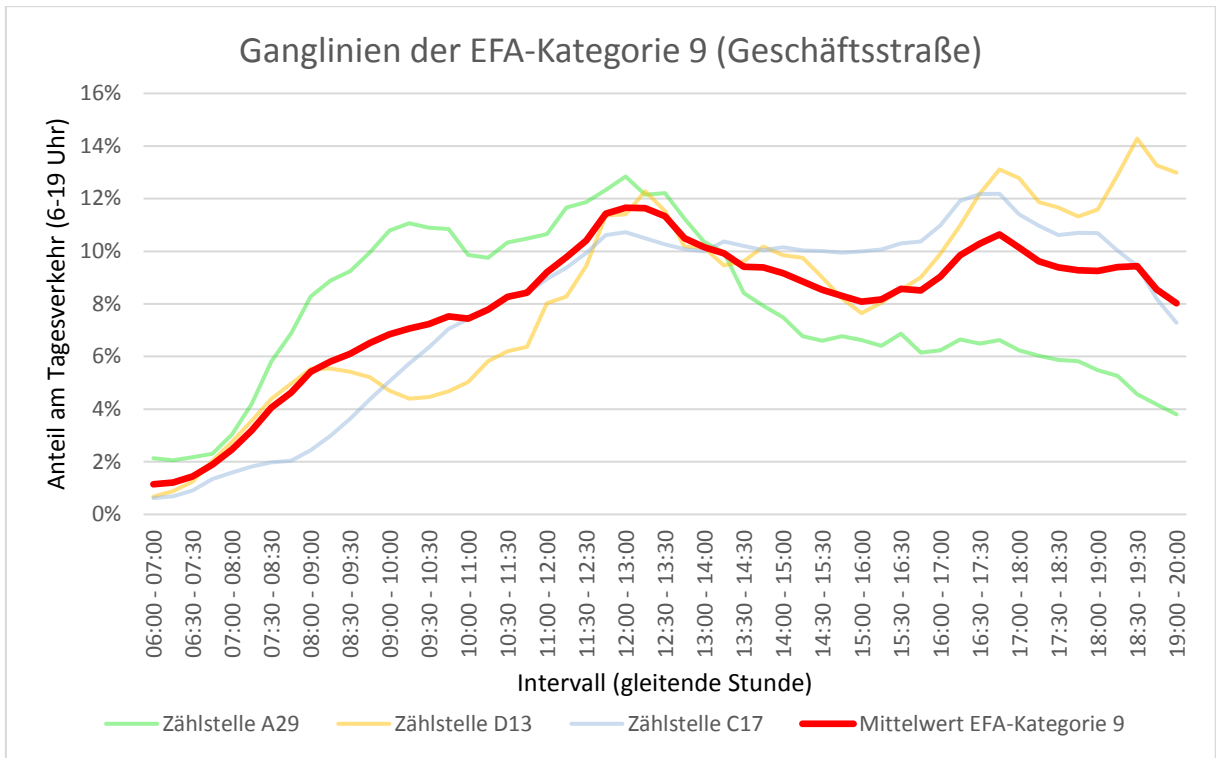


Abbildung 33 Ganglinien an Zählstellen der EFA-Kategorie 9 (Geschäftsstraßen); vgl. Abschnitt 5.2

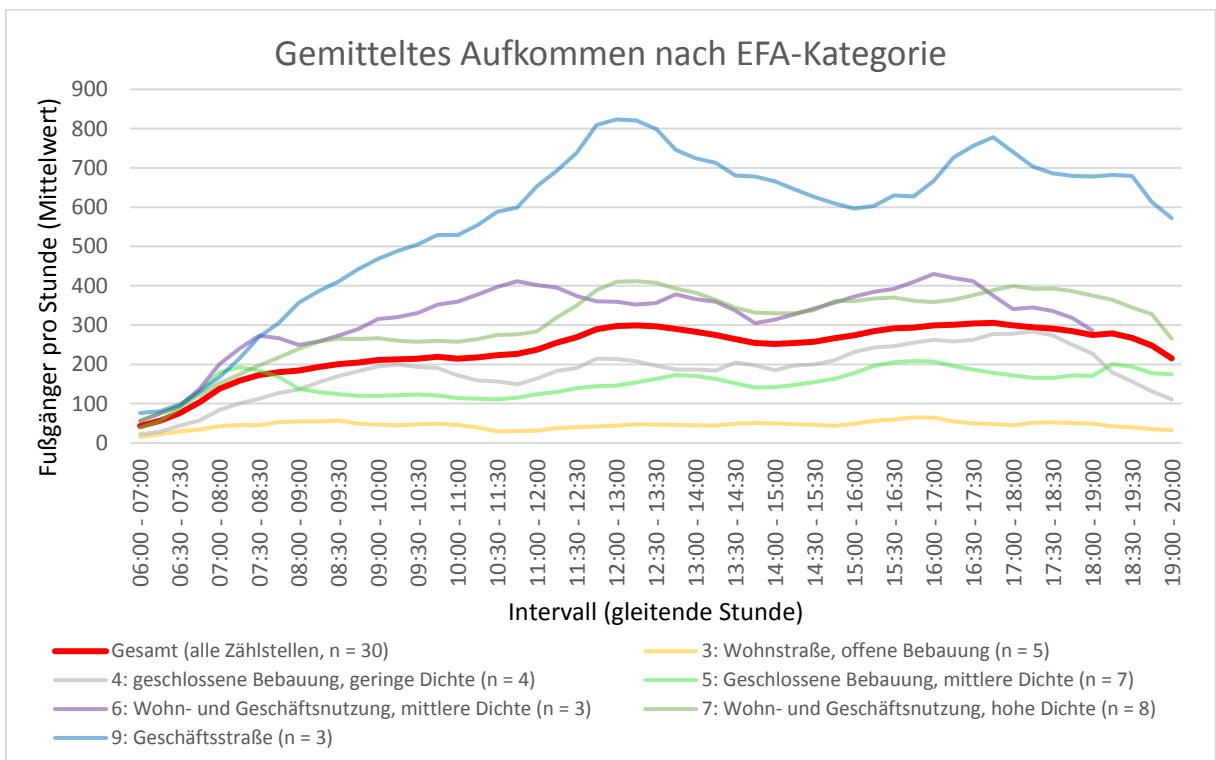


Abbildung 34 Gemitteltetes Aufkommen nach EFA-Kategorie; vgl. Abschnitt 5.2

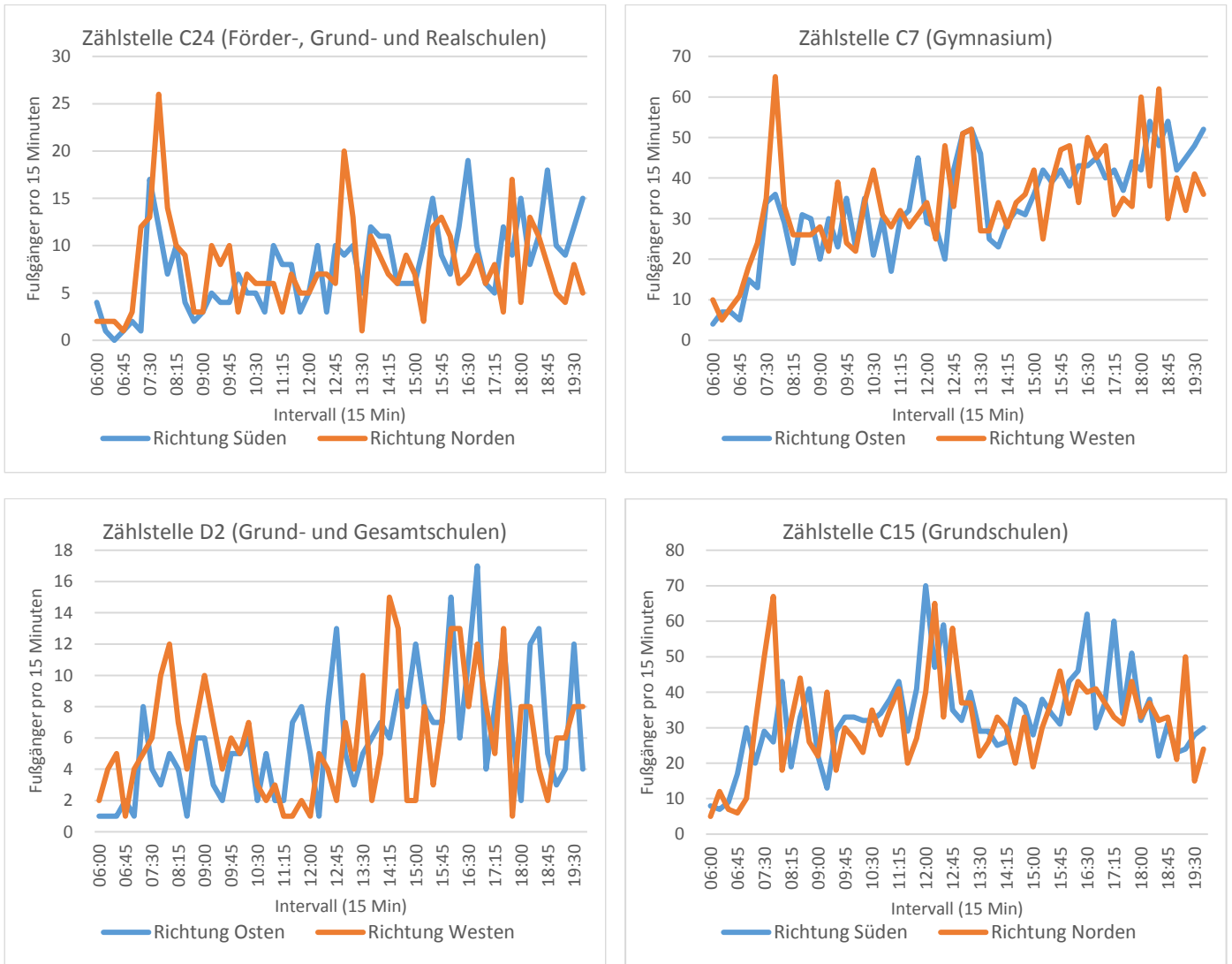


Abbildung 35 Weitere Ganglinien an Schulstandorten (vgl. Abschnitt 5.5.2); 15-Min-Intervalle, richtungsgetrennt, y-Achse differierend

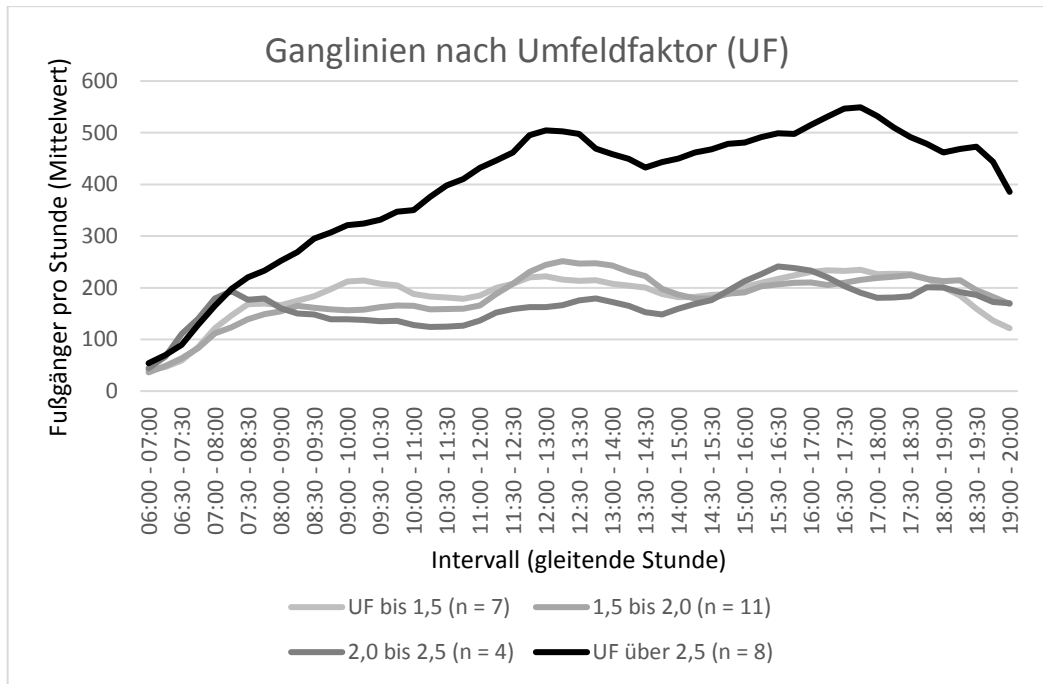


Abbildung 36 Ganglinien nach Umfeldfaktor, absolut; vgl. Abschnitt 5.3

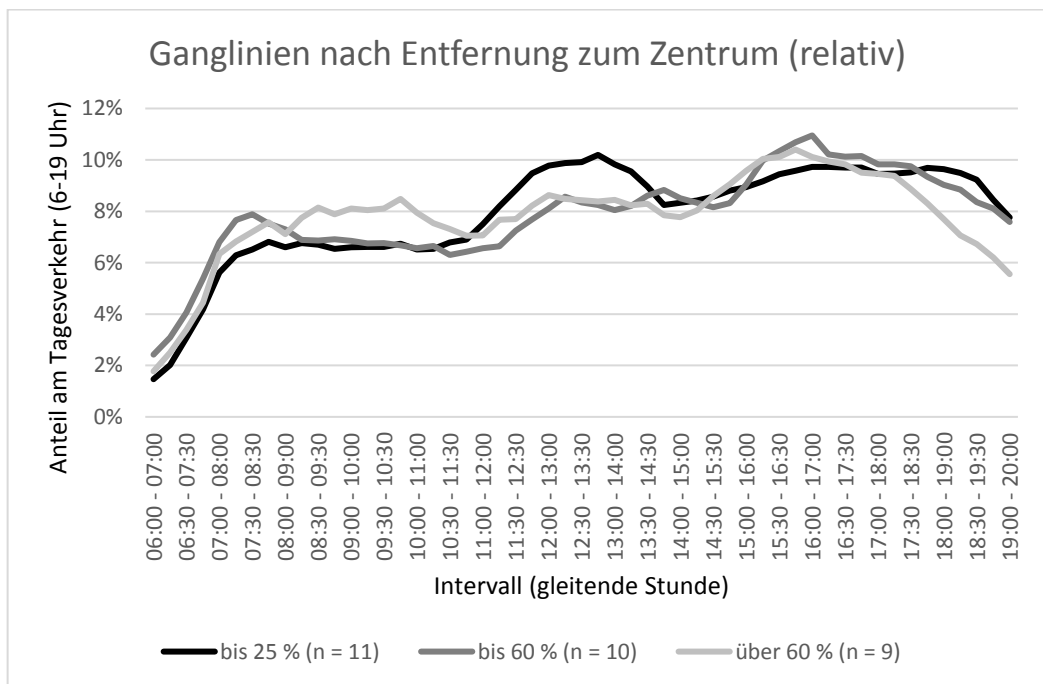


Abbildung 37 Ganglinien nach Entfernung zum Zentrum, relativ (Verhältnis zur am weitesten vom Zentrum entfernten Zählstelle der jeweiligen Stadt); gemittelter Anteil der Stunden am Tagesverkehr; vgl. Abschnitt 5.4.2

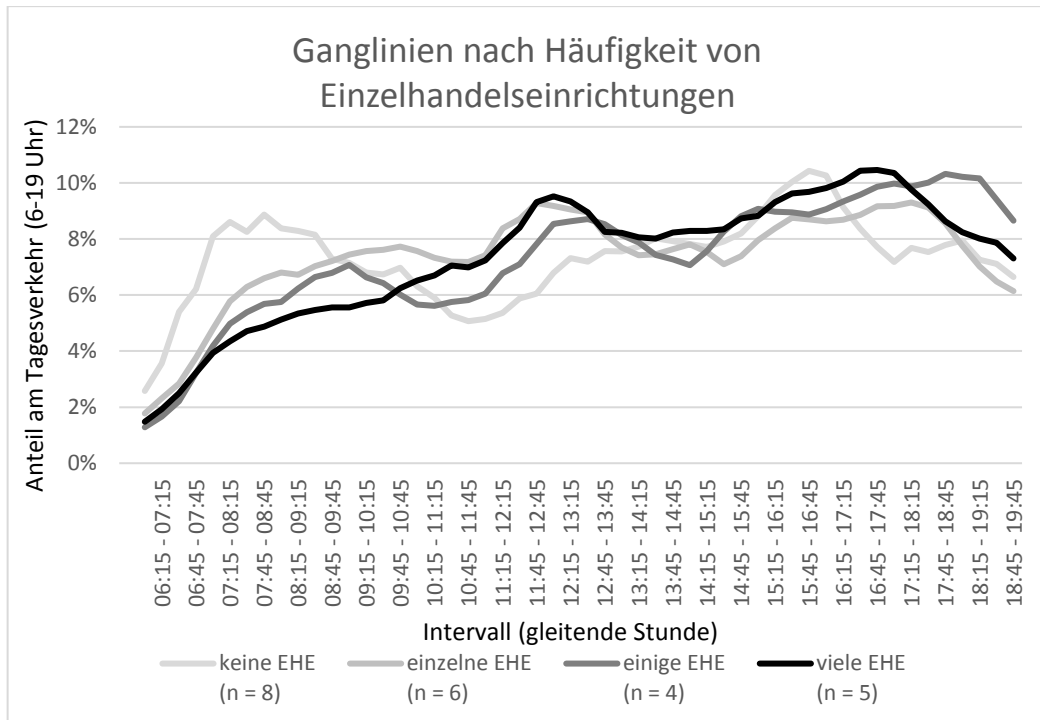


Abbildung 38 Ganglinien nach Häufigkeit von Einzelhandelseinrichtungen, absolut; gruppiert (vgl. Abschnitt 5.5.4)

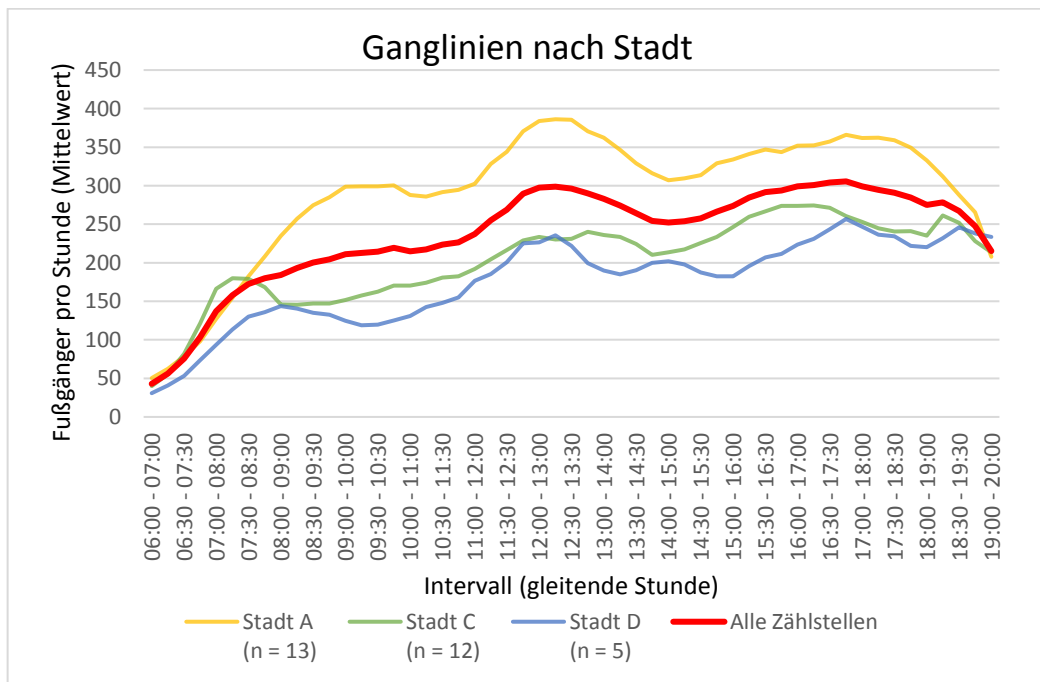


Abbildung 39 Ganglinien nach Stadt, absolut; vgl. Abschnitt 5.6

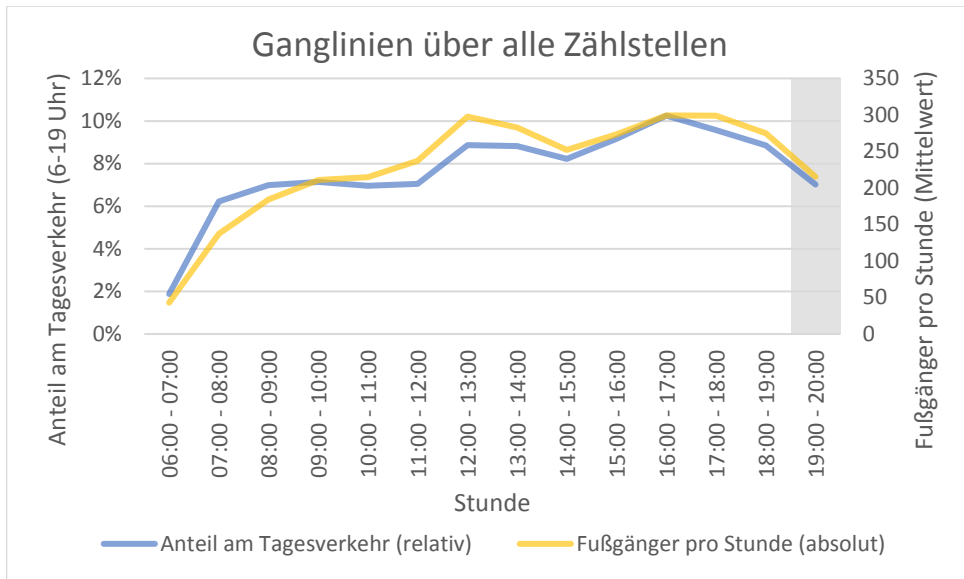


Abbildung 40 Gemittelte Ganglinien über alle Zählstellen (n = 30, nach 19 Uhr n = 23)

8.3 Anhang 3: Weitere Abbildungen und Kennwerte der Hochrechnungen

Hochrechnung auf der Basis zusammengesetzter 2-Stunden-Intervalle

| zusammengesetztes 2-Stunden-Intervall | Anteil am Tagesverkehr (Mittelwert) | Std.- Abw. | HR- Faktor | max. Fehler bei | |
|--|---|---------------|---------------|-----------------|------------------------|
| | | | | 68% | 95% der Zählstellen |
| 12:00 - 13:00 und 16:00 - 17:00 | 19,6% | 1,5% | 5,1 | 7% | 15% |
| 08:00 - 09:00 und 14:00 - 15:00 | 14,5% | 1,3% | 6,9 | 9% | 18% |
| 08:00 - 09:00 und 17:00 - 18:00 | 16,4% | 1,5% | 6,1 | 9% | 19% |
| 13:00 - 14:00 und 16:00 - 17:00 | 19,4% | 1,9% | 5,2 | 10% | 19% |
| 12:00 - 13:00 und 15:00 - 16:00 | 18,8% | 1,9% | 5,3 | 10% | 20% |
| 13:00 - 14:00 und 15:00 - 16:00 | 18,5% | 1,9% | 5,4 | 10% | 20% |
| 11:00 - 12:00 und 16:00 - 17:00 | 17,6% | 1,9% | 5,7 | 11% | 21% |
| 09:00 - 10:00 und 14:00 - 15:00 | 15,1% | 1,7% | 6,6 | 11% | 22% |
| 10:00 - 11:00 und 16:00 - 17:00 | 17,0% | 1,9% | 5,9 | 11% | 22% |
| 14:00 - 15:00 und 16:00 - 17:00 | 18,3% | 2,1% | 5,5 | 12% | 23% |
| 10:00 - 11:00 und 15:00 - 16:00 | 16,2% | 1,9% | 6,2 | 12% | 23% |
| 09:00 - 10:00 und 16:00 - 17:00 | 17,0% | 2,0% | 5,9 | 12% | 24% |
| 11:00 - 12:00 und 15:00 - 16:00 | 16,8% | 2,1% | 5,9 | 12% | 24% |
| 08:00 - 09:00 und 16:00 - 17:00 | 16,5% | 2,0% | 6,1 | 12% | 25% |
| 11:00 - 12:00 und 17:00 - 18:00 | 17,5% | 2,2% | 5,7 | 13% | 25% |

Tabelle 8 Hochrechnung auf der Basis zusammengesetzter 2-Stunden-Intervalle (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

Anteil der 3-Stunden-Intervalle am Tagesverkehr

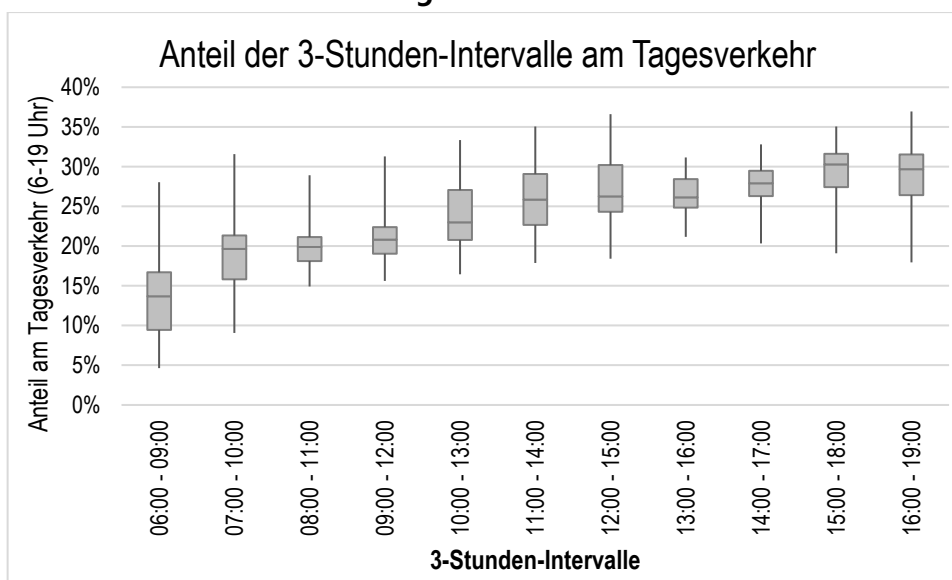


Abbildung 41 Anteil der 3-Stunden-Intervalle am Tagesverkehr (Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h); Boxplot-Diagramm, die Boxen enthalten 50 % der Werte

Überschlägige Berechnung der Spitzenstunde

| 2-Stunden- Intervall | Mittelwert (HR-Faktor) | Std.- Abw. | max. Fehler bei | |
|-------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------|
| | | | 68% | 95% |
| der Zählstellen | | | | |
| 06:00 - 08:00 | 2,45 | 1,57 | 64% | 128% |
| 07:00 - 09:00 | 1,24 | 0,58 | 47% | 94% |
| 08:00 - 10:00 | 0,99 | 0,25 | 25% | 50% |
| 09:00 - 11:00 | 0,95 | 0,22 | 24% | 47% |
| 10:00 - 12:00 | 0,92 | 0,24 | 26% | 52% |
| 11:00 - 13:00 | 0,78 | 0,19 | 24% | 49% |
| 12:00 - 14:00 | 0,70 | 0,15 | 22% | 43% |
| 13:00 - 15:00 | 0,75 | 0,16 | 21% | 42% |
| 14:00 - 16:00 | 0,74 | 0,13 | 18% | 35% |
| 15:00 - 17:00 | 0,67 | 0,15 | 22% | 44% |
| 16:00 - 18:00 | 0,64 | 0,13 | 20% | 41% |
| 17:00 - 19:00 | 0,69 | 0,18 | 26% | 52% |

Tabelle 9 Faktoren zur überschlägigen Ermittlung des Aufkommens in der (gleitenden) Spitzenstunde aus 2-Stunden-Zählungen (vgl. Abschnitt 6.6; Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

| 3-Stunden- Intervall | Mittel- wert (HR-Fak- tor) | Std.-Abw. | max. Fehler bei | |
|-------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----|
| | | | 68% | 95% |
| der Zählstellen | | | | |
| 06:00 - 09:00 | 1,10 | 0,53 | 48% | 96% |
| 07:00 - 10:00 | 0,72 | 0,23 | 32% | 65% |
| 08:00 - 11:00 | 0,64 | 0,13 | 20% | 41% |
| 09:00 - 12:00 | 0,61 | 0,14 | 22% | 45% |
| 10:00 - 13:00 | 0,55 | 0,13 | 23% | 47% |
| 11:00 - 14:00 | 0,50 | 0,11 | 22% | 45% |
| 12:00 - 15:00 | 0,48 | 0,09 | 19% | 39% |
| 13:00 - 16:00 | 0,48 | 0,06 | 13% | 27% |
| 14:00 - 17:00 | 0,46 | 0,08 | 18% | 35% |
| 15:00 - 18:00 | 0,44 | 0,09 | 20% | 39% |
| 16:00 - 19:00 | 0,44 | 0,09 | 21% | 42% |

Tabelle 10 Faktoren zur überschlägigen Ermittlung des Aufkommens in der (gleitenden) Spitzenstunde aus 3-Stunden-Zählungen (vgl. Abschnitt 6.6; Grundlage: 22 Zählstellen mit > 100 Fg/h)

8.4 Anhang 4: Empfehlungen zur Durchführung der Hochrechnung

Die in dieser Arbeit ermittelten Hochrechnungsfaktoren (vgl. Kapitel 6) beruhen auf Zählungen an Werktagen. Entsprechend sollten Erhebungen mit dem Ziel der Verwendung obiger Hochrechnungsfaktoren analog den EVE in den Monaten März bis Oktober an Normalwerktagen (Dienstag/Mittwoch/Donnerstag in Wochen ohne Feiertage und außerhalb der Ferien) durchgeführt werden [EVE 2012, S. 26 f].

Bei Planung, Durchführung und Auswertung einer Erhebung, auch zur Anwendung der ermittelten Hochrechnungsmethoden, sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Der Zählquerschnitt sollte – vor allem bei Durchführung der Zählung durch mehrere Personen oder einer geplanten Wiederholung der Zählung zu einem späteren Zeitpunkt – eindeutig definiert sein. Bspw. führen Querschnitte, die direkt an stark frequentierten Hauseingängen, Einmündungen von Wegen oder dem Rand von Plätzen liegen, zu Definitionsproblemen bzgl. der Frage, welche der die Straße verlassenden oder betretenden Personen mitgezählt werden und welche nicht. Vorteilhaft sind Querschnitte, die (z.B. durch Hauswände) eindeutig seitlich begrenzt sind.
- Es sollten keine Querschnitte gewählt werden, an denen in relevantem Ausmaß Aufenthalt stattfindet. Dies gilt für die Eingänge größerer Bürogebäude („Raucherpause“) ebenso wie für Warteflächen von ÖV-Haltestellen. Wartende Personen führen zu Unübersichtlichkeit, was die Zählung deutlich erschweren kann.
- Als Zähltag dürfen nur solche mit ganz überwiegend trockenem Wetter genutzt werden. Bei kürzeren Regenschauern ist kein relevanter Einfluss auf das Gesamtaufkommen des Tages zu erwarten. Allerdings sollte vor allem bei stärkerem Niederschlag zwischen dem Regen und dem zur Hochrechnung verwendeten Intervall eine ausreichend lange Zeitspanne liegen, damit die bei Niederschlag auftretende zeitliche Verschiebung von Ortsveränderungen abgeschlossen ist (vgl. Abschnitt 5.5.1).
- Zur Detektion starker zufallsbedingter Schwankungen sollten das Fußverkehrsaufkommen nicht nur in dem zur Hochrechnung verwendeten Intervall zusammengefasst (z.B. 1 h), sondern in kürzeren Intervallen (z.B. 5 oder 15-Minuten-Intervallen) erhoben werden. Anhand dieser Daten können durch Einzelereignisse hervorgerufene starke Schwankungen erkannt werden, ggf. muss dann auf ein längeres Zählintervall ausgewichen werden.
- Bei Verwendung von Videokameras zur Beobachtung sollten diese so angebracht werden, dass keine Sichtverdeckungen (Sonnenschirme, Markisen, Verkehrszeichen)

die Sicht beeinträchtigen. Bei Videoaufnahmen mit dem Ziel einer präzisen Erfassung der Merkmale der Fußgänger (Alter, Geschlecht etc.) empfiehlt sich die Verwendung möglichst hochauflöser Aufnahmen (unter Beachtung des Datenschutzes, vgl. EVE 2012, S. 102 ff). Da bei Installation einer Kamera auf einer Straßenseite meist bereits der gegenüber liegende Gehweg schlechter einsehbar ist, sollte je nach Anforderung an die Präzision der Erhebung ggf. mit einer Kamera nur eine Straßenseite ausgewertet werden.

- Liegt das Ziel der Erhebung dagegen ausschließlich in der Erfassung des Fußverkehrsaufkommens ohne die Aufnahme weiterer personenbezogener Merkmale, so reichen auch zeitlich und räumlich gering aufgelöste Aufnahmen aus. Vor allem bei schwach frequentierten Zählstellen können diese sogar insofern vorteilhaft sein, da sie bei der Auswertung am Computer eine höhere Geschwindigkeit beim Abspielen der Videos ermöglichen und damit den Zeitbedarf der Auswertung senken.¹⁷
- Zur Vermeidung von Missverständnissen und zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit sollten Ergebnisse stets in Verbindung mit den zugehörigen relativen Fehlern sowie unter Angabe der als Hochrechnungsbasis verwendeten Zeitraumes angegeben werden. Dies ermöglicht zudem die Vergleichbarkeit im Falle einer Wiederholung der Zählung.

¹⁷ Bei der ausschließlichen Zählung des Aufkommens – ohne die Erhebung weiterer Merkmale – erlaubte die Auswertung aufgrund der langsamen Fortbewegung von Fußgängern ein Abspielen der Videos in mehrfacher Geschwindigkeit. Dabei wurde die Geschwindigkeit der Auswertung neben dem Fußgängeraufkommen vor allem von der Kombination aus zeitlicher und räumlicher Auflösung der Videos und der Leistungsfähigkeit des verwendeten Computers bestimmt.

8.5 Anhang 5: Zähldaten

Der Anhang 5 umfasst die der Arbeit zu Grunde liegenden Zähldaten; aufgrund seines Umfangs ist er nur auf der beigefügten Daten-CD enthalten.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Studienarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Dresden, den 7. Juni 2017