



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# Personenbezogener Flächenbedarf im Verkehr

**Consommation d'espace dans le transport de personnes**

**Land consumption in passenger transport**

**INFRAS AG**  
**Roman Frick**  
**Roberto Bianchetti**  
**Lukas Gafner**

**ewp AG**  
**Raphael Fuhrer**  
**Stefan Riedi**  
**Martin Kalberer**

**Forschungsprojekt VPT\_20\_08B\_02 auf Antrag der Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT)**

**April 2024**

**1766**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



# Personenbezogener Flächen- verbrauch im Verkehr

**Consommation d'espace dans le transport de personnes**

**Land consumption in passenger transport**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

### Projektleitung

Roman Frick (INFRAS)

### Mitglieder

Roberto Bianchetti (INFRAS)

Lukas Gafner (INFRAS)

Raphael Fuhrer (ewp)

Stefan Riedi (ewp)

Martin Kalberer (ewp)

## Begleitkommission

### Präsident

Martin Tschopp (ARE)

### Mitglieder

Cécile Baumeler (Viaplan)

Christiane Dasen (Kanton ZH)

Stephan Felber (Gemeinde Köniz)

Simon Kettner (Kanton BS)

Chris Kollaschek (Stadt Bern)

Fabienne Perret (EBP)

Jean-Luc Poffet (ASTRA)

Dominic Schorneck (Infraconsult)

Götz Timcke (Kanton AG)

## Antragsteller

Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT)

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>11</b>
<b>Summary</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>19</b>
1.1 Ausgangslage.....	19
1.2 Ziele und Abgrenzung .....	19
1.3 Vorgehen und Berichtsaufbau.....	21
<b>2 Literatur</b> .....	<b>23</b>
2.1 Einführung .....	23
2.2 Systematik.....	23
2.3 Literatur Bottom-up Ansätze .....	25
2.3.1 Eigenheiten und zentrale Erkenntnisse .....	25
2.3.2 Beispiele Bottom-up Ansatz .....	26
2.4 Literatur Top-down Ansätze .....	28
2.4.1 Eigenheiten und zentrale Erkenntnisse .....	28
2.4.2 Beispiel Top-down Ansatz.....	29
2.5 Literatur Fundamentaldiagramm (MFD).....	29
2.5.1 Eigenheiten und zentrale Erkenntnisse .....	29
2.5.2 Beispiel MFD-Ansatz.....	31
2.6 Zwischenfazit.....	33
<b>3 Methodisches Konzept</b> .....	<b>35</b>
3.1 Grundsätze und Begriffsverständnis .....	35
3.2 Herleitung der Methodik und Einflussgrößen .....	36
3.3 Methodik personenspezifischer Flächenverbrauch.....	38
3.3.1 Modellaufbau .....	38
3.3.2 Systemgrenzen, Abgrenzung von Flächen .....	41
3.4 Operationalisierung .....	43
3.4.1 Modul 1 Flächenallokation .....	43
3.4.2 Modul 2: Verhältnis Verkehr zu Fläche .....	47
3.5 Benötigte Daten und Datengrundlagen.....	50
3.6 Methodische Vereinfachungen.....	51
<b>4 Fallbeispiele</b> .....	<b>53</b>
4.1 Einleitung.....	53
4.2 Fallbeispiel Mischverkehr: Basel Feldbergstrasse.....	53
4.2.1 Untersuchungsraum .....	53
4.2.2 Datenverfügbarkeit und Erhebung .....	54
4.2.3 Datenaufbereitung.....	56
4.2.4 Resultate .....	56
4.2.5 Resultate unter Verwendung des Fundamentaldiagramms.....	60
4.3 Fallbeispiel getrennte Verkehrsfläche: Basel Wettsteinbrücke .....	61
4.3.1 Untersuchungsraum .....	61
4.3.2 Datenverfügbarkeit und Erhebung .....	62
4.3.3 Datenaufbereitung.....	63
4.3.4 Resultate .....	63
4.3.5 Resultate unter Verwendung des Fundamentaldiagramms.....	64
4.4 Resultate Makroskopisches Fundamentaldiagramm Kleinbasel .....	66
4.5 Fallbeispiel Frick Hauptstrasse .....	70
4.5.1 Untersuchungsraum .....	70

4.5.2	Datenverfügbarkeit und Erhebung .....	70
4.5.3	Datenaufbereitung .....	71
4.5.4	Resultate .....	71
4.6	Fallbeispiel Münsingen Autobahn .....	74
4.6.1	Untersuchungsraum.....	74
4.6.2	Datenverfügbarkeit und Erhebung .....	74
4.6.3	Datenaufbereitung .....	75
4.6.4	Resultate .....	76
4.7	Vergleich der Fallbeispiele .....	77
<b>5</b>	<b>Methodische Varianten und Sensitivitätsüberlegungen.....</b>	<b>81</b>
5.1	Variationen Modul 1: Flächenallokation anhand verkehrsplanerischer Abhängigkeiten und Abwägungen .....	81
5.2	Illustrative Sensitivitätsüberlegungen .....	84
<b>6</b>	<b>Folgerungen .....</b>	<b>87</b>
6.1	Methodische Erkenntnisse.....	87
6.2	Inhaltliche Erkenntnisse .....	91
6.3	Anwendung in der Praxis .....	92
6.4	Weiterer Forschungsbedarf .....	94
	<b>Anhänge.....</b>	<b>95</b>
	<b>Glossar.....</b>	<b>111</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>113</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>115</b>

## Zusammenfassung

### Hintergrund, Vorgehen und Methodenkonzept

Planung und Politik haben einen steigenden Bedarf nach Aussagen zum Flächenbedarf und zur Raumeffizienz des Verkehrs. Für konkrete Anwendungsfälle fehlen aber nicht nur Kennwerte, sondern vor allem eine etablierte Methodik, die von Fachleuten in unterschiedlichen Anwendungsfällen genutzt werden kann. Hier setzt die vorliegende Forschungsarbeit an. Nach einer umfassenden Literaturanalyse wurde eine nach Verkehrsmitteln differenzierte Methode zur Abschätzung des personenbezogenen Flächenverbrauchs entwickelt und mittels Fallbeispielen typischer Verkehrssituationen in unterschiedlichen Räumen getestet. Die Forschungsarbeit fokussiert auf den strassengebundenen Personenverkehr, sei dies motorisierter Individualverkehr, Fuss- und Veloverkehr oder öffentlicher Verkehr. Der Strassengüterverkehr wird bei der Flächenallokation mitgedacht, als Endergebnisse resultieren jedoch personenbezogene Kennziffern. Der Flächenverbrauch des Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs wird in der Forschungsarbeit nicht behandelt.

Die Methodik basiert auf einem differenzierten Bottom-up-Ansatz und ergänzt diesen durch Möglichkeiten aus makroskopischen Fundamentaldiagrammen (MFD). In einem ersten Modul erfolgt über drei Schritte die spezifische Flächenallokation je Verkehrsmittel und Fortbewegungsart. Hier werden – abgestützt auf ein differenziertes Wirkungsmodell – verschiedenste Einflussfaktoren berücksichtigt (Parameter zum Verkehrs- und Personenfluss, Fahrzeugdimensionen, -auslastung, Geschwindigkeit, Abstände etc.).

Zudem wird zwischen fließendem und ruhendem Verkehr unterschieden. Parallel werden die Flächen z.B. aus Luftbildern erhoben und es erfolgt im Modul 1 eine spezifische Flächenzuordnung pro Verkehrsmittelleinheit. Im Modul 2 wird die benötigte Fläche ins Verhältnis zur Gesamtzahl beförderter Personen pro Verkehrsmittel gesetzt. So resultiert der Flächenverbrauch pro Person [ $\text{m}^2/\text{Person}$ ]. Falls vorhanden wird das Modul 2 idealerweise auf MFD-Daten abgestützt. Solch einzelfahrzeugbezogenen Daten bilden das reale Verkehrsgeschehen über Verkehrsfluss, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit in unterschiedlich grossen Räumen sehr genau ab. Mittels MFD-Daten kann zudem der optimale Verkehrszustand (und damit auch optimierter Flächenverbrauch) berechnet werden. Der Einsatz von MFD-Daten ist in der Methodik aber optional vorgesehen, weil diese in der Schweiz bisher nur punktuell vorliegen (insbesondere multimodale MFD). Die folgende Abbildung fasst das Methodenkonzept zusammen:

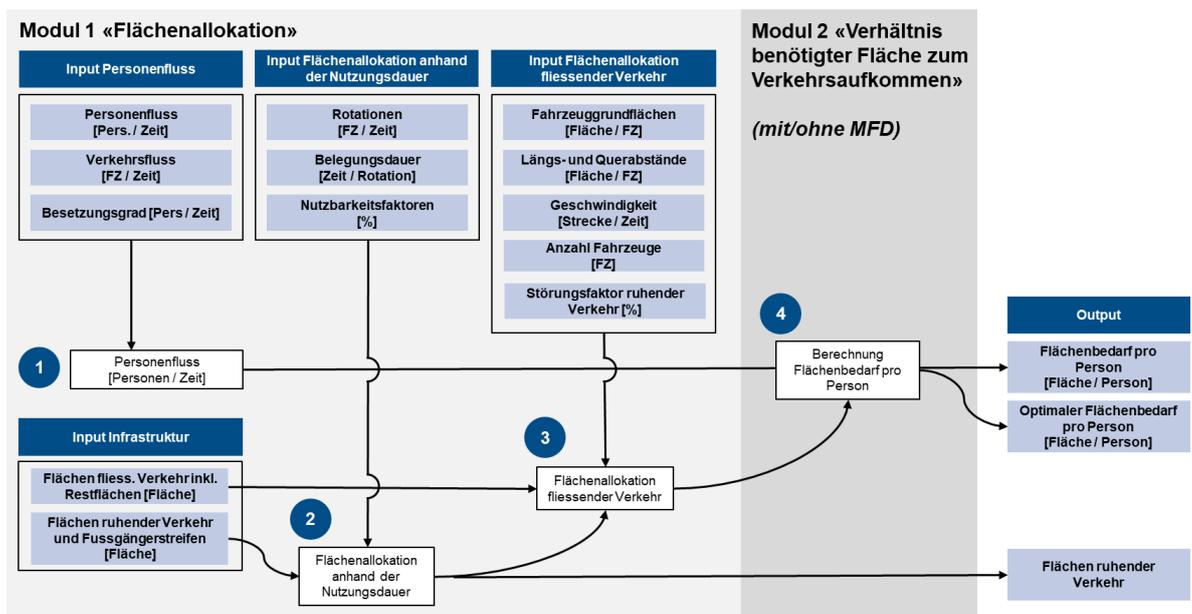
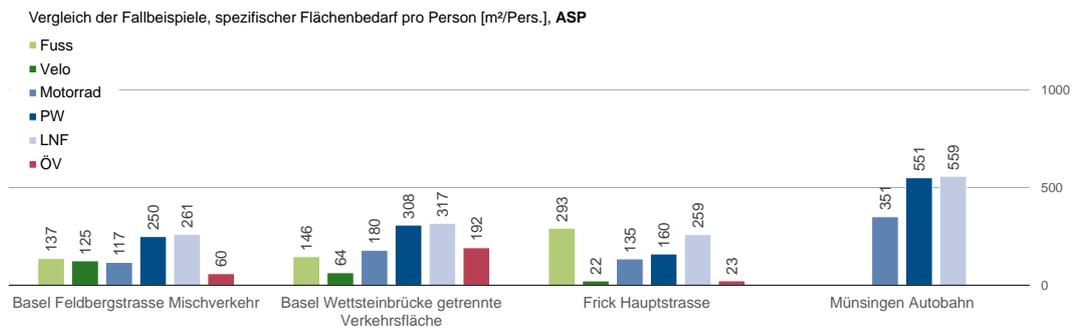


Abb. 1 Aufbau des Modells inkl. Inputs, Berechnungsschritte und Output.

## Methodische und inhaltliche Erkenntnisse

Die entwickelte Methodik erlaubt deskriptive Analysen zum Flächenbedarf im (strassengebunden) Personenverkehr für x-beliebige Verkehrssituationen. Die Methodik ist punkto Einflussfaktoren sehr differenziert und transparent und hebt sich deutlich von vereinfachenden Top-down Ansätzen ab. Die Methodik ist modulartig aufgebaut und kann für unterschiedlichste Verkehrssituationen, Raumtypen und Zeitpunkte angewendet werden. Insofern ist das Hauptziel der Forschungsarbeit erreicht. Es hat sich aber auch gezeigt, dass Zusammenhänge des Flächenverbrauchs sehr komplex sind. Dies betrifft insbesondere die Zusammenhänge zwischen fließendem und ruhendem Verkehr, die gegenseitige Beeinflussung der Verkehrsmittel im Mischverkehr, das Betriebs- und Gestaltungskonzept sowie die grundsätzliche Frage, welche Flächen überhaupt berücksichtigt werden (z.B. 'Ohnehin'-Flächen wie Unterhalt und Services). Hinzu kommt das Problem von lückenhaften Daten. All diese Herausforderungen werden im Bericht behandelt und die Einflüsse auf das Endergebnis diskutiert. Zudem werden methodische oder datenbasierte Vereinfachungen für die Anwendung in der Praxis aufgezeigt. Um standardisierte Kennziffern zum Flächenverbrauch in typischen oder optimalen Verkehrssituationen festlegen zu können wären jedoch vertiefte, Skript-basierte Simulationen nötig.

Die folgende Abbildung zeigt illustrativ die Resultate für die Abendspitzenstunde in den vier untersuchten Fallbeispielen im Quervergleich. Dabei sind Basel, Feldbergstrasse sowie Frick/Hauptstrasse Mischverkehrssituationen und die anderen zwei getrennte Verkehrssituationen:



**Abb. 2** Vergleich des spezifischen Flächenbedarfs pro Person je Fallbeispiel und Modus während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde.

Obwohl die Forschungsarbeit nicht das Ziel hatte, idealtypische Flächenverbrauchskennziffern zu berechnen, können inhaltlich-planerisch folgende Erkenntnisse aus den untersuchten Fallbeispielen formuliert werden: Der Flächenverbrauch ist umso kleiner bzw. die Flächeneffizienz umso besser, je höher die verkehrliche Auslastung im betrachteten Perimeter ist. Dies betrifft alle Verkehrsmittel. Die Auslastung ihrerseits ist jedoch von diversen Faktoren abhängig (v.a. Verkehrsfluss, Verkehrsdichte, Geschwindigkeit, Besetzungsgrade). Liegt eine Verkehrssituation mit separaten Busspuren vor, so steigt logischerweise auch der Flächenbedarf im ÖV. Beim Veloverkehr sind pauschale Aussagen zur Flächeneffizienz schwierig: Im Mischverkehr sind bei 'fairer' Flächenallokation gute Werte möglich. Bei separaten Veloinfrastrukturen hängt die Flächeneffizienz wiederum stark von der Auslastung ab. Bei gemischten Bus-/Velospuren stellt sich die Flächenallokationsfrage. Grundsätzlich verbessert diese Kombination aber die Flächeneffizienz beider Modi. Der Flächenverbrauch des Fussverkehrs ist schwierig zu berechnen bzw. mit den anderen Modi vergleichbar. Dies hängt mit den Mehrfach-Nutzungen der Trottoirflächen, den nur lückenhaft erfassbaren Fussverkehrsströmen und auch dem hohen Sicherheitsbedarf des Fussverkehrs (mit Folgen auf die Dimensionierung der Infrastrukturen) zusammen. Der MIV hat in den Fallbeispielen zumeist den grössten Flächenbedarf. Das Ausmass hängt aber ebenfalls stark von den Verkehrsflussparametern ab. Auch wenn bzgl. Fahrzeugfluss ein Optimalzustand gemäss Fundamentaldiagramm erreicht wird, bleibt beim MIV ein grundsätzliches Flächeneffizienzproblem, solange die durchschnittlichen Besetzungsgrade der Fahr-

zeuge nicht erhöht werden können. Städtische Verkehrsinfrastrukturen sind i.d.R. flächeneffizienter als ländliche, weil die Verkehrsdichten grösser sind und der Strassenraum knapper dimensioniert wird. Bei den Autobahnen sind je nach Region bzw. Streckenabschnitt und zeitlicher Betrachtung unterschiedliche Verkehrsdichten vorhanden mit Folgen für die Flächeneffizienz. Wegen höheren Geschwindigkeiten und den damit verbundenen grösseren Fahrzeugabständen und Sicherheitsanforderungen sind zudem grösser dimensionierte Flächen notwendig.

### **Anwendungsfelder und Vertiefungsbedarf**

Für die entwickelte modulartige Methodik ergeben sich zahlreiche Anwendungsfelder, sowohl auf strategisch-konzeptioneller Planungsebene als auch bei der Projektierung oder Bewertung von Projekten. Im Vordergrund stehen Vergleiche des strassengebundenen Flächenverbrauchs innerhalb einer konkreten Verkehrssituation an einem Standort xy, aber unter Variation einzelner Einflussgrössen wie Verkehrsbelastung, -fluss, Modal Split oder veränderten Flächennutzung (Misch- vs. getrennter Verkehr). Dies kann beispielsweise vor Erneuerungsprojekten sinnvoll sein, um das Optimierungspotenzial zu untersuchen. Für strategische Untersuchungen können auch Vergleiche ähnlicher Verkehrssituationen in unterschiedlichen Raumtypen Erkenntnisse bringen. Dies kann bspw. für raumplanerische Strategien auf Stufe Bund (z.B. Sachplan Verkehr oder Benchmark Agglo) oder Kantone hilfreich sein.

Für solch deskriptive Vergleiche kann das vorliegende Tischmodell relativ einfach verwendet werden. Es besteht jedoch erhebliches Potenzial darin, die Methode in einem maschinenlesbaren Skript aufzubereiten und für inkrementelle Ausgangsdaten anzuwenden. Mit einem solch erweiterten Modell könnten die komplexen Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren simuliert und Zustände für einen typischen Querschnitt evaluiert werden, um den Flächenverbrauch zu optimieren.

Insgesamt können mit der entwickelten Methodik verlässlichere und breiter abgestützte Grundlagen zum Flächenverbrauch des Personenverkehrs sowie der Flächeneffizienz verschiedener Verkehrsmittel erarbeitet werden. Diese Grundlagen werden bei künftigen Planungsentscheidungen faktengestützte Abwägungen und Beurteilungen ermöglichen. Es ging in der Forschungsarbeit aber nicht darum, Empfehlungen oder gar Normen abzuleiten zu sinnvollen Standards des Flächenverbrauchs. Auch geht die Forschungsarbeit nicht der Frage nach, warum welche Flächendimensionen in spezifischen Verkehrssituationen gewählt werden. Spurbreiten sind bspw. aus Sicherheitsgründen oder aus betrieblichen Gründen unterschiedlich gross. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden.

Das Thema bleibt komplex und somit resultiert bedeutender Forschungsbedarf: Dies betrifft z.B. Untersuchungen zur Bedeutung von Nebenflächen, Erhebungen zur (ggf. normierten) Festlegung spezifischer Einflussfaktoren wie Stör- und Nutzbarkeitsfaktoren und in typischen Situationen, Bereitstellung von (multimodalen) makroskopischen Fundamentaldigrammen für alle Schweizer Städte sowie eine Erweiterung der Methodik auf den Nicht-Strassenverkehr (Bahn-, Schiffs- und Luftverkehr).

Angesichts der Unsicherheiten, die mit der Anwendung der hier vorgestellten Methode verbunden sind, erscheint es verfrüht, sie in konkreten Fällen zu verwenden. Die Methode kann und muss noch weiterentwickelt und verfeinert werden, bevor sie in der Planungspraxis eingesetzt werden kann.



## Résumé

### Contexte, démarche et concept méthodologique

La planification et la politique ont un besoin croissant d'informations sur les besoins en surface et l'efficacité spatiale des transports. Pour les cas d'application concrets, il ne manque pas seulement des valeurs de référence, mais aussi et surtout une méthodologie établie qui puisse être utilisée par les spécialistes dans différents cas d'application. C'est là qu'intervient le présent travail de recherche. Après une analyse approfondie de la littérature, une méthode d'estimation de la consommation de surfaces liée aux personnes, différenciée selon les moyens de transport, a été développée et testée à l'aide d'études de cas de situations de transport typiques dans différents espaces. Le travail de recherche se concentre sur le transport de personnes par la route, qu'il s'agisse du transport individuel motorisé, du trafic piéton et cycliste ou des transports publics. Le transport routier de marchandises est pris en compte dans l'allocation des surfaces, mais les résultats finaux sont des chiffres-clés relatifs aux personnes. La consommation de surface des transports ferroviaires, aériens et maritimes n'est pas traitée dans ce travail de recherche.

La méthodologie est basée sur une approche de bas en haut différenciée, complétée par des possibilités offertes par les diagrammes fondamentaux macroscopiques (DFM). Dans un premier module, l'allocation spécifique des surfaces par moyen de transport et par mode de déplacement s'effectue en trois étapes. Ici – en s'appuyant sur un modèle d'impact différencié – les facteurs d'influence les plus divers sont pris en compte (paramètres relatifs au flux de trafic et de personnes, aux dimensions des véhicules, au taux d'occupation, à la vitesse, aux distances, etc.).

En outre, une distinction est faite entre la circulation des véhicules et le stationnement. Dans le module 1 les surfaces sont relevées, par exemple à partir de photos aériennes, et une affectation spécifique des surfaces par unité de moyen de transport est effectuée. Dans le module 2, la surface nécessaire est mise en relation avec le nombre total de personnes transportées par moyen de transport. On obtient ainsi la consommation de surface par personne [ $m^2$ /personne]. Le cas échéant, le module 2 s'appuie idéalement sur des données des DFM. De telles données relatives aux véhicules individuels reflètent très précisément la réalité du trafic en termes de flux de circulation, de densité du trafic et de vitesse dans des espaces de différentes tailles. Les données des DFM permettent en outre de calculer l'état optimal du trafic (et donc l'utilisation optimale de l'espace). L'utilisation de données des DFM est toutefois prévue en option dans la méthodologie, car celles-ci ne sont jusqu'à présent disponibles que ponctuellement en Suisse (notamment les DFM multimodaux). La figure suivante résume le concept méthodologique :

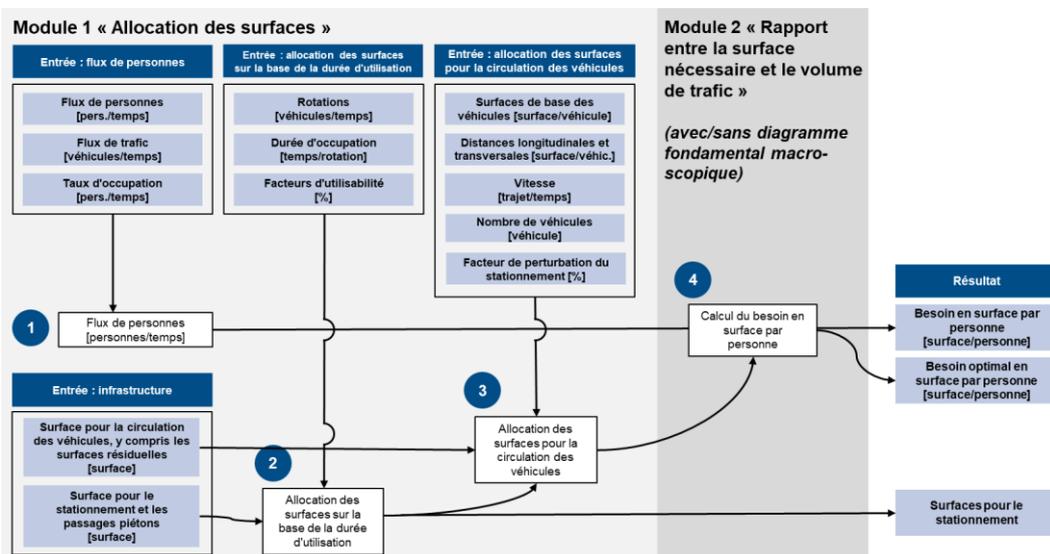
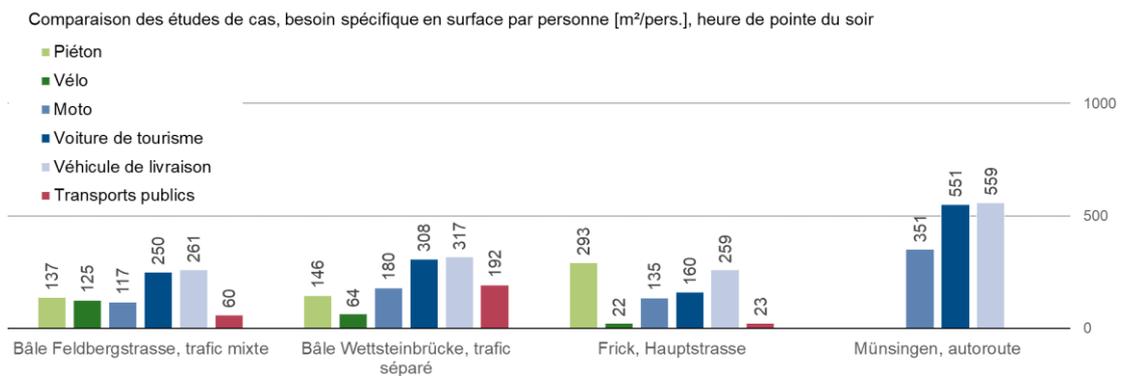


Fig. 1 Structure du modèle, y compris les entrées, les étapes de calcul et le résultat.

### Conclusions méthodologiques et de contenu

La méthodologie développée permet d'effectuer des analyses descriptives des besoins en surface dans le transport de personnes (par route) pour différentes situations de trafic. La méthodologie est très différenciée et transparente en ce qui concerne les facteurs d'influence et se distingue clairement des approches simplificatrices de haut en bas. La méthodologie est modulaire et peut être appliquée à des situations de trafic, des types d'espace et des moments très différents. En ce sens, l'objectif principal du travail de recherche est atteint. Mais il s'est également avéré que les relations concernant la consommation d'espace sont très complexes. Cela concerne en particulier les relations entre la circulation des véhicules et le stationnement, l'influence réciproque des moyens de transport dans le trafic mixte, le concept d'exploitation et d'aménagement ainsi que la question fondamentale de savoir quelles surfaces doivent être prises en compte (par exemple les surfaces "déterminées" comme celles utilisées pour l'entretien et les services). A cela s'ajoute le problème des données lacunaires. Tous ces défis sont traités dans le rapport et les influences sur le résultat final sont discutées. En outre, des simplifications méthodologiques ou liées aux données sont présentées en vue de l'application dans la pratique. Toutefois, pour pouvoir définir des valeurs de référence standardisées de la consommation d'espace dans des situations de trafic typiques ou optimales, des simulations approfondies basées sur des scripts seraient nécessaires.

La figure suivante montre à titre d'illustration les résultats pour l'heure de pointe du soir pour les quatre études de cas retenues en comparaison transversale. Bâle Feldbergstrasse et Frick Hauptstrasse sont des situations de trafic mixte et les autres deux situations de trafic séparé:



**Fig. 2** Comparaison des besoins spécifiques en surface par personne, par étude de cas et par mode pendant l'heure de pointe moyenne du soir.

Bien que le travail de recherche n'ait pas eu pour objectif de calculer des chiffres-clés idéaux de consommation de surface, les conclusions suivantes peuvent être formulés en termes de contenu et de planification à partir des études de cas retenues : la consommation de surface est d'autant plus faible ou l'efficacité en termes de surface d'autant meilleure que le taux d'utilisation des transports est élevé dans le périmètre considéré. Cela concerne tous les moyens de transport. L'utilisation dépend toutefois de différents facteurs (notamment le flux de circulation, la densité du trafic, la vitesse, le taux d'occupation). En présence d'une situation de trafic avec des voies de bus séparées, le besoin en surface pour les TP augmente logiquement. En ce qui concerne le trafic cycliste, il est difficile de tirer des conclusions générales sur l'efficacité en termes de surface : dans la circulation mixte, de bonnes valeurs sont possibles si l'allocation des surfaces est faite de manière "équitable". Dans le cas d'infrastructures cyclables séparées, l'efficacité en termes de surface dépend à nouveau fortement de l'utilisation. En cas de voies mixtes bus/vélos, la question de l'allocation des surfaces se pose. Mais en principe, cette combinaison améliore l'efficacité en termes de surface des deux modes. La consommation de surface des piétons est difficile à calculer ou à comparer avec les autres modes. Cela est dû à l'utilisation multiple des surfaces de trottoirs, aux flux de piétons qui ne peuvent être saisis que de manière lacunaire et aussi au besoin élevé de sécurité des piétons (avec des conséquences sur le dimensionnement des infrastructures). Dans les études de cas, le TIM a le plus souvent besoin de la plus grande surface. Mais l'ampleur de ce besoin dépend aussi fortement des paramètres de flux de trafic. Même si un état optimal est atteint

en termes de flux de véhicules selon le diagramme fondamental, un problème fondamental d'efficacité en termes de surface subsiste pour le TIM tant que les taux d'occupation moyens des véhicules ne peuvent pas être augmentés. En règle générale, les infrastructures de transport urbaines sont plus efficaces en termes de surface que les infrastructures rurales, car les densités de trafic sont plus élevées et l'espace routier est dimensionné de manière plus restreinte. Pour les autoroutes, les densités de trafic varient selon les régions resp. les tronçons et selon la période considérée, ce qui a des conséquences sur l'efficacité en termes de surface. En raison des vitesses plus élevées et des distances plus importantes entre les véhicules ainsi que des exigences de sécurité qui en découlent, des surfaces plus grandes sont en outre nécessaires.

### **Champs d'application et besoins d'approfondissement**

La méthodologie modulaire développée a de nombreux champs d'application, aussi bien au niveau de la planification stratégique et conceptuelle que lors de l'élaboration ou de l'évaluation de projets. Il s'agit en premier lieu de comparer l'utilisation de surfaces liée à la route dans une situation de trafic concrète sur un site xy, mais en faisant varier certains facteurs d'influence tels que la charge et le flux de trafic, la répartition modale ou la modification de l'utilisation de la surface (trafic mixte ou séparé). Cela peut par exemple être utile avant des projets d'assainissement afin d'examiner le potentiel d'optimisation. Pour les études stratégiques, des comparaisons de situations de trafic similaires dans différents types d'espaces peuvent également apporter des enseignements. Cela peut être utile, par exemple, pour les stratégies d'aménagement du territoire au niveau de la Confédération (p. ex. plan sectoriel des transports ou benchmark dans les projets d'agglomération) ou des cantons.

Pour de telles comparaisons descriptives, le présent modèle peut être utilisé de manière relativement simple. Cependant, il existe un potentiel considérable pour préparer la méthode dans un script lisible par une machine et l'appliquer à des données de départ incrémentielles. Un tel modèle étendu permettrait de simuler les relations complexes entre les facteurs d'influence et d'évaluer les états pour un profil en travers typique afin d'optimiser la consommation d'espace.

Dans l'ensemble, la méthodologie développée permet d'élaborer des bases plus fiables et plus étayées sur l'utilisation de surfaces par le transport de personnes ainsi que sur l'efficacité en termes de surfaces des différents moyens de transport. Ces bases permettront lors de décisions d'aménagement des comparaisons et des évaluations fondées sur des faits. Le travail de recherche n'avait cependant pas pour but de formuler des recommandations ou même d'élaborer des normes qui définissent des standards appropriés de consommation de surface. Le travail de recherche ne s'est pas non plus penché sur la question de savoir quelles dimensions des surfaces sont choisies dans des situations de trafic spécifiques. Les largeurs de voie varient, par exemple, pour des raisons de sécurité ou d'exploitation. Il faut en tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

Le sujet reste complexe et il en résulte un besoin de recherche important : cela concerne par exemple des études sur l'importance des surfaces secondaires, des enquêtes pour déterminer (éventuellement de manière normalisée) des facteurs d'influence spécifiques tels que les facteurs de perturbation et d'utilisabilité et dans des situations typiques, la mise à disposition de diagrammes fondamentaux macroscopiques (multimodaux) pour toutes les villes suisses ainsi qu'une extension de la méthodologie au trafic non routier (ferroviaire, maritime et aérien).

Au vu des incertitudes liées à l'utilisation de la méthode présentée ici, il paraît prématuré de l'utiliser dans des cas concrets. La méthode peut et doit encore être développée et affinée avant de pouvoir être utilisée concrètement.



## Summary

### Background, procedure and methodological concept

Planning and politics have an increasing need for statements on the space requirements and the spatial efficiency of transport. For concrete applications, however, not only parameters are missing, but above all an established methodology that can be used by experts in different use cases. This is where the present research project comes in. After a comprehensive literature analysis, a method for estimating personal land use, differentiated by modes of transport, was developed and tested by means of case studies of typical traffic situations in different areas. The research project focuses on road-based passenger transport, be it motorized private transport, pedestrian and bicycle traffic or public transport. Road freight traffic is taken into account in the land allocation, but the final results are passenger-related indicators. The land consumption of rail, air and water transport is not part of this research project.

The methodology is based on a differentiated bottom-up approach and complemented by possibilities from macroscopic fundamental diagrams (MFD). In a first module, the specific land allocation per transport mode and travel type is carried out in three steps. Here – based on a differentiated impact model – a wide variety of influencing factors are taken into account (parameters for traffic and passenger flow, vehicle dimensions, vehicle utilization, speed, distances, etc.).

In addition, a distinction is made between flowing and stationary traffic. In parallel, the areas are surveyed, e.g. from aerial photographs, and a specific area allocation per transport mode unit is made in module 1. In module 2, the required area is put in relation to the total number of persons transported per mode of transport. This results in the land consumption per person [ $\text{m}^2/\text{person}$ ]. If available, module 2 is ideally based on MFD data. Such single-vehicle related data represent the real traffic situation very accurately in terms of traffic flow, traffic density and speed in areas of different sizes. MFD data can also be used to calculate optimal traffic conditions (and thus optimized land use). However, the use of MFD data is optional in the methodology because it is only selectively available in Switzerland so far (especially multimodal MFD). The following figure summarizes the methodology concept:

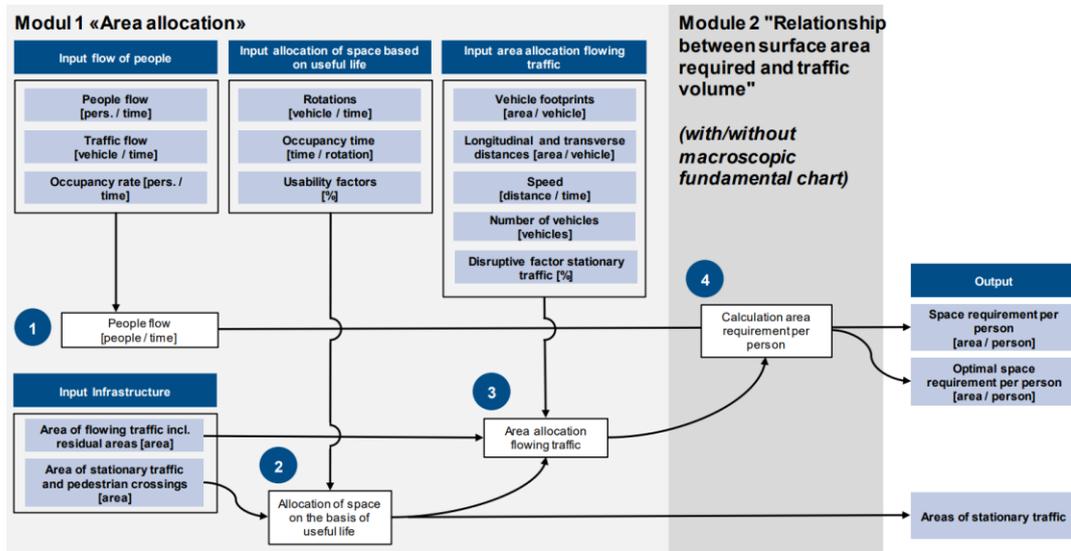
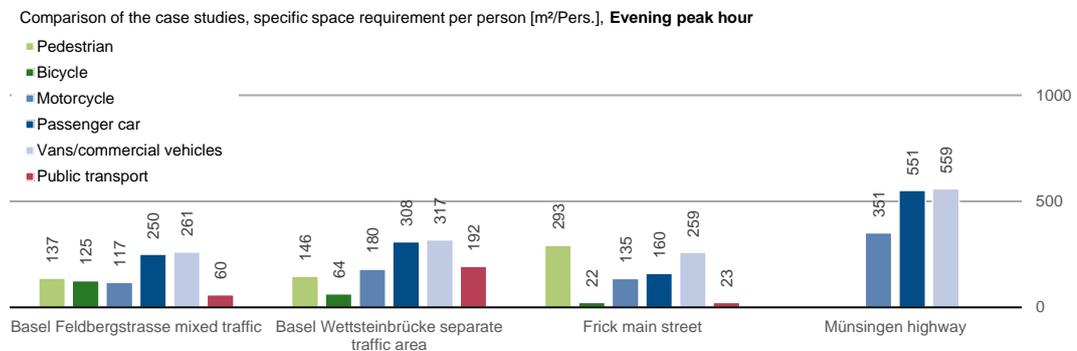


Fig. 1 Structure of the model incl. inputs, calculation steps and output.

### Methodological and content-related findings

The developed methodology allows descriptive analyses of the spatial requirements in (road-bound) passenger transport for any given traffic situation. The methodology is very differentiated and transparent with regard to influencing factors and clearly stands out from simplistic top-down approaches. The methodology has a modular structure and can be applied to a wide variety of traffic situations, types of spaces and points in time. In this respect, the main objective of the research work has been achieved. However, it has also been shown that interrelations of land use are very complex. This concerns in particular the interrelations between moving and stationary traffic, the mutual influence of the modes of transport in mixed traffic, the operational and design concept, and the fundamental question of which areas are taken into account at all (e.g. 'given' areas such as maintenance and services). Added to this is the problem of incomplete data. All these challenges are addressed in the report and the influences on the final result are discussed. In addition, methodological or data-based simplifications for practical application are highlighted. However, in-depth, script-based simulations would be necessary to establish standardized ratios for land use in typical or optimal traffic situations. The following figure illustrates the results for the evening peak hour in the four case studies considered in cross comparison. Basel, Feldbergstrasse and Frick/Hauptstrasse are mixed traffic situations and the other two are separate traffic situations:



**Fig. 2** Comparison of specific space requirements per person per case study and mode during the average evening peak hour.

Although this research project did not aim to calculate ideal-typical land use indicators, the following findings can be formulated from the case studies investigated in terms of content and planning: The higher the traffic load in the considered perimeter, the smaller the land use and the better the land efficiency. This applies to all modes of transport. The capacity utilization, however, depends on various factors (e.g. traffic flow, traffic density, speed, occupancy rates). If there is a traffic situation with separate bus lanes, then logically the space requirement for public transport also increases. In the case of bicycle traffic, general statements on space efficiency are difficult to make: In mixed traffic, good values are possible with 'fair' space allocation. In the case of separate bicycle infrastructures, the space efficiency again depends strongly on the capacity utilization. For mixed bus/bike lanes, the question of space allocation arises. In general, however, this combination improves the space efficiency of both modes. The land use of pedestrian traffic is difficult to calculate or to compare with the other modes. This is due to the multiple uses of the sidewalk areas, the only incompletely detectable pedestrian traffic flows and also the high safety requirements of pedestrian traffic (with consequences for the dimensioning of the infrastructures). In most of the case studies, motorized private transport has the highest space requirements, the extent of which also strongly depends on the traffic flow parameters, however. Even if an optimal state according to the fundamental diagram is achieved with regard to vehicle flow, a fundamental space efficiency problem remains in the case of motorized private transport as long as the average occupancy rates of the vehicles cannot be increased. Urban transport infrastructures are generally more space-efficient than rural ones because traffic densities are higher and road space is more limited. In the case of highways, traffic densities vary depending on the region or section of road and the time of day, with consequences for land use efficiency. Moreover, due to higher speeds and the associated greater vehicle distances and safety requirements, larger areas are necessary.

**Fields of application and need for further development**

There are numerous fields of application for the developed modular methodology, both on the strategic-conceptual planning level and in the planning or evaluation of projects. In the foreground are comparisons of road-related land use within a concrete traffic situation at a given location  $xy$ , while varying individual influencing parameters such as traffic load, flow, modal split or changed land use (mixed vs. separated traffic). This can be useful, for example, prior to renewal projects in order to investigate the optimization potential. For strategic studies, comparisons of similar traffic situations in different types of spaces can also provide insights. This can be helpful, for example, for spatial planning strategies at the federal (e.g. transport sectoral plan or Benchmark Agglo) or cantonal level.

For such descriptive comparisons, the present table model can be used with relative ease. However, there is considerable potential in preparing the method in a machine-readable script and applying it to incremental baseline data. Such an enhanced model could be used to simulate the complex relationships between influencing factors and evaluate conditions for a typical cross-section to optimize land use.

Overall, the developed methodology can be used to develop more reliable and broadly supported bases for the land use of passenger transportation and the land use efficiency of various modes of transportation. These bases will enable fact-based considerations and assessments in future planning decisions. However, this research did not aim at deriving recommendations or even norms for reasonable standards of land use, nor does the research address the question of why which land dimensions are chosen in specific traffic situations. Lane widths vary, for example, for safety or operational reasons. This must be taken into account when interpreting the results.

The topic remains complex and thus results in a significant need for research: For example, this concerns studies on the importance of secondary surfaces, surveys for the (possibly standardized) determination of specific influencing factors such as disruptive and usability factors and in typical situations, provision of (multimodal) macroscopic foundation diagrams for all Swiss cities as well as an extension of the methodology to non-road traffic (rail, ship and air traffic).

In view of the uncertainties associated with the application of the method presented here, it seems premature to use it in specific cases. The method can and must be further developed and refined before it can be used in planning practice.



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Der Flächenverbrauch des Verkehrs hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass die Flächen sowohl im Siedlungsgebiet als auch ausserhalb der Siedlungsgebiete beschränkt sind und die Nutzungskonkurrenz der Flächen zugenommen hat. Andererseits nimmt die Relevanz des Flächenthemas im umweltpolitischen Kontext auch deshalb zu, weil sich bei anderen Umweltwirkungen – Luftschadstoffemissionen und künftig voraussichtlich vermehrt auch Treibhausgasemissionen – die Unterschiede zwischen verschiedenen Verkehrsträger tendenziell verringern.

Die Flächeneffizienz verschiedener Verkehrsmittel ist folglich ein wichtiges Argument bei der Abwägung und dem Vergleich verschiedener Verkehrsmittel (wenn auch längst nicht das einzige Kriterium). Methodisch breit abgestützte, quantitative Grundlagen zum Flächenverbrauch existieren jedoch bisher in der Schweiz nicht. Es gibt zwar einzelne Kennzahlen zum Flächenverbrauch. Diese Kennzahlen oder Berechnungen entstammen aber entweder älteren Studien, ausländischen Grundlagen oder deren Methodik ist schwer nachvollziehbar ist (vgl. Kapitel 2). Aus den verfügbaren Grundlagen lässt sich schliessen, dass es weder eine breit anerkannte Methodik noch ein gemeinsames Begriffsverständnis gibt. Schliesslich fokussieren viele Ansätze zu stark auf den Verkehr (Flächenbedarf je Fahrzeug) statt auf die Mobilität (Flächenbedarf je beförderter Person) und sind zu statisch, d.h. lassen wichtige weitere Aspekte unberücksichtigt wie z.B. die Leistungsfähigkeit von Infrastrukturen oder die gefahrene Geschwindigkeit der einzelnen Verkehrsmittel.

Die Politik hat einen steigenden Bedarf nach Aussagen zum Flächenbedarf und Raumeffizienz des Verkehrs – als Entscheidungsgrundlage. Beispielsweise postulieren viele Kantone in jüngsten Klima- oder Mobilitätsstrategien eine Bevorzugung umweltfreundlicher Verkehrsmittel und Fortbewegungsarten, wobei diese sowohl, klima- und ressourcenschonend, emissionsarm wie auch flächeneffizient sein müssen. Für konkrete Anwendungsfälle fehlen aber nicht nur Kennwerte, sondern vor allem eine etablierte Methodik, die von Fachleuten in unterschiedlichen Anwendungsfällen genutzt werden kann. Hier setzt die vorliegende Forschungsarbeit «Personenbezogener Flächenverbrauch im Verkehr» an.

## 1.2 Ziele und Abgrenzung

Der Flächenverbrauch führt zu verschiedenen ökologischen Folgen (u.a. Verlust von Ökosystemen, Versiegelung, negativer Einfluss aufs Mikroklima mit Folgen für Klimaanpassung), hat Auswirkungen auf die Raumplanung (Verfügbarkeit Freiflächen, Wohnraum etc.) und führt zu ökonomischen Folgen (z.B. externe Kosten, Opportunitätskosten durch Verzicht auf andere Nutzungen). Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht nicht die Analyse dieser Folgen des Flächenverbrauchs, sondern die quantitative Ermittlung des personenbezogenen Flächenverbrauchs. Dennoch ist es zur Einbettung der Arbeit wichtig zu wissen, auf welche Aspekte und Politikbereiche die zu erarbeitenden Grundlagen einen Einfluss haben können.

In der Forschungsarbeit soll eine Methode zur Abschätzung des personenbezogenen, spezifischen Flächenverbrauchs nach Verkehrsmitteln entwickelt werden. Die Methodik soll transparent und nachvollziehbar sein und möglichst aktuelle und belastbare Kenngrössen zum Flächenverbrauch liefern. Ebenfalls soll die Methodik differenziert sein, indem sie verschiedene Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen abbilden kann (z.B. zeitliche und räumliche Differenzierung). Auf diese Weise soll auch die Relevanz der Bandbreiten verschiedener Annahmen oder Rahmenbedingungen für das Ergebnis aufgezeigt werden. Gleichzeitig soll die Methodik aber möglichst gut anwendbar sein. D.h. die Komplexität darf nicht zu gross sein (siehe nachfolgende Abgrenzungen).

Aus diesen allgemeinen Zielen lassen sich folgende **Forschungsfragen** ableiten:

- Welche methodischen Ansätze zur Ermittlung des Flächenverbrauchs liegen bisher vor?
- Welche Faktoren (oder Treiber) beeinflussen den Flächenverbrauch? Wie relevant sind die verschiedenen Einflussfaktoren?
- Welche Differenzierungsmöglichkeiten bzw. «typischen Situationen» bestehen für die Berechnung des Flächenverbrauchs? Und welche dieser Differenzierungen (bzw. Kombination davon) sind besonders wichtig und weiter zu vertiefen?
- Mit welcher Methodik soll der Flächenverbrauch ermittelt werden? Welche Inputgrößen können dabei je nach Anwendungsfall und Datenverfügbarkeit wie variieren (z.B. Leistungsfähigkeit, Nachfragedaten, Besetzungsgrad)?
- Welche Lehren können aus konkreten Fallstudien für die Methodik und deren Anwendung gezogen werden? Für welche Anwendung ist die Methodik geeignet und wo sind ihre Grenzen?

### **Abgrenzung**

Die Forschungsarbeit fokussiert auf den strassengebundenen Personenverkehr, sei dies Individualverkehr (MIV, Fuss- und Veloverkehr) oder öffentlicher Verkehr. Der Strassengüterverkehr soll bei der Flächenallokation zwar mitgedacht werden, bezüglich Endergebnisse stehen jedoch personenbezogene Kennziffern im Vordergrund. Der Flächenverbrauch des Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr wird in der vorliegenden Forschungsarbeit nicht behandelt.

Die Methodik soll für verschiedene Verkehrssituationen (z.B. Mischverkehr vs. getrennte Flächen) und Raumtypen (städtisch, ländlich) anwendbar sein. Die zweckmässige räumliche Abgrenzung im bebauten Raum ist Gegenstand der Forschungsarbeit. Dabei geht es insbesondere um die Frage, welche Nebenflächen ausserhalb der direkten Strassenzüge des fließenden Verkehrs zu berücksichtigen sind (Parkierung, Betriebshöfe, Pärke, etc.) und welche Nebenflächen ausgeklammert werden können (weil die Methodik zu komplex würde und / oder weil die Zuordnung zu einzelnen Verkehrsmitteln kaum möglich ist).

Bei der Betrachtung des Flächenbedarfs müssen verschiedene Massstabebenen unterschieden werden: Querschnitte einzelner Strassen, ganze Strassenzüge (inkl. Knoten), Teilnetze oder Quartiere, ganze Strassennetze. Die unterschiedlichen Massstabebenen sollen in den Arbeiten berücksichtigt werden – insbesondere bei der Auswahl und Bearbeitung konkreter Fallbeispiele.

Grundsätzlich steht die Fläche als quantitative, physikalische Grösse im Vordergrund. Nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen die verschiedenen Qualitäten von Flächen (z.B. ökologische Qualitäten, alternative Nutzungsmöglichkeiten) oder die ökonomische Ausprägung des Flächenverbrauchs (Landkosten, Opportunitätskosten, externe Kosten).

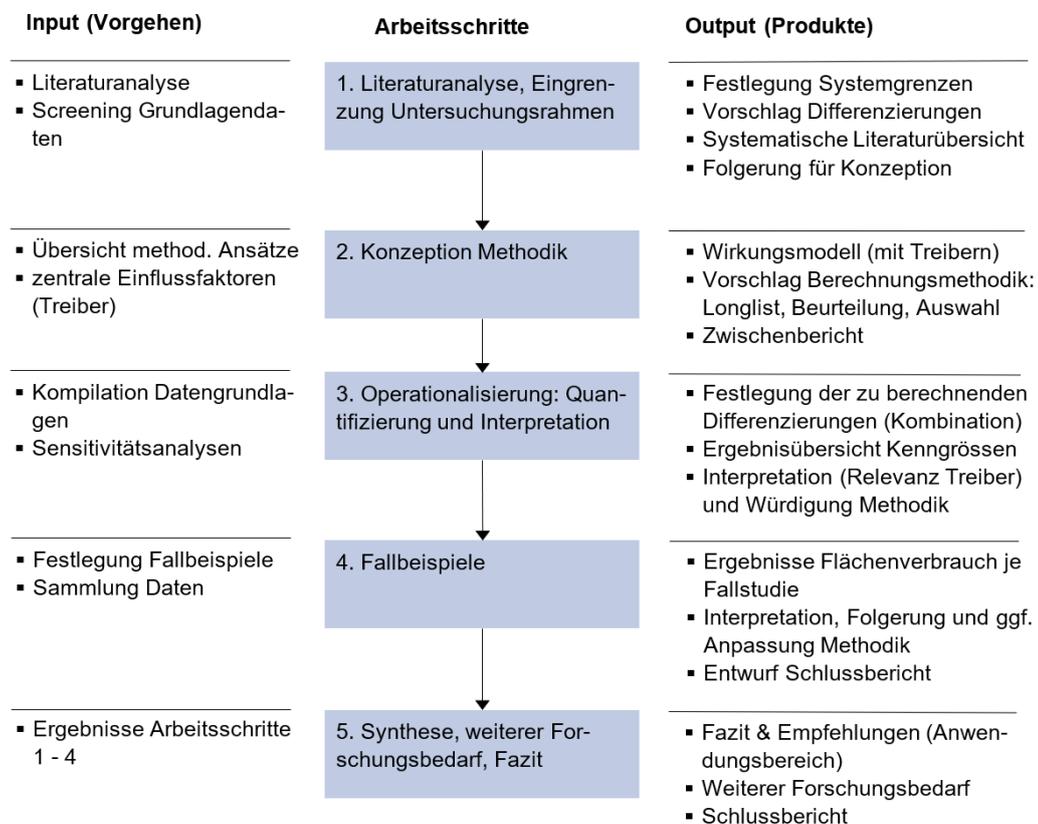
Die Methodik soll aufwärtskompatibel sein. D.h. zukünftige Entwicklungen in einzelnen Einflussgrößen (z.B. Fahrzeuggrösse oder Spurbreiten) müssen bei den operativ hinterlegten Parametern abbildbar sein.

Schliesslich geht es in der Forschungsarbeit nicht darum, Empfehlungen oder gar Normen abzuleiten zu sinnvollen Standards des Flächenverbrauchs oder ideale Strassennutzung. D.h. die zu entwickelnde Methodik soll deskriptive Analysegrundlagen bereitstellen. Durch den Vergleich von verschiedenen Verkehrssituationen oder Tageszeiten kann man jedoch indirekte Folgerungen ableiten hinsichtlich der Frage nach optimierten Verkehrszuständen.

Auch geht die Forschungsarbeit nicht der Frage nach, warum welche Flächendimensionen in spezifischen Verkehrssituationen gewählt werden. Spurbreiten sind bspw. aus Sicherheitsgründen oder aus betrieblichen Gründen (Stichwort: Unterhalt und Versorgung) unterschiedlich gross. Das wird in der zu entwickelnden Methodik ausgeklammert, muss jedoch bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden.

## 1.3 Vorgehen und Berichtsaufbau

Die Forschungsarbeiten teilen sich in fünf Arbeitsschritte gemäss nachfolgender Darstellung. Der Berichtsaufbau folgt in wesentlichen Teilen den entsprechenden Arbeitspaketen.



**Abb.3** Vorgehen nach fünf Arbeitsschritten.

Mittels umfassender Literaturanalyse im In- und Ausland wird der aktuelle Forschungsstand zum Thema Flächenverbrauch im Verkehr dargelegt und erste Schlüsse hinsichtlich vielversprechender methodischer Ansätze gezogen (Kapitel 2). Danach werden die konzeptionellen Dimensionen definiert, welche die Methodik zu berücksichtigen hat (Kapitel 3). Dabei werden in einem ersten Teilschritt die wichtigsten Einflussgrössen und deren Zusammenhänge in Form eines Wirkungsmodells bestimmt. Danach erfolgt die operationelle Beschreibung der Methodik. Dies beinhaltet die Festlegung der notwendigen Inputs, der Berechnungsschritte und des Outputs (Endkennziffern). Die operativen Schritte sind in einem Excel-Modell implementiert. Die Methodik hat die Forschungsstelle anhand von vier Fallbeispielen getestet (Kapitel 4). Dies erfolgte iterativ. D.h. anhand von ersten Fallbeispielen wurde die Methodik justiert und angepasst und mit weiteren Fallbeispielen konsolidiert. In Kapitel 6 werden die Folgerungen aus der Forschungsarbeit gezogen (methodisch, inhaltlich) und der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt.



## 2 Literatur

### 2.1 Einführung

Als Basis dieser Forschungsarbeit wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Hierfür wurden in einem ersten Schritt geeignete Quellen, insbesondere wissenschaftliche Arbeiten aus der Schweiz oder aus anderen Ländern, bestimmt. Es handelt sich dabei um Publikationen in Journalen, Berichten, Arbeitsberichte, Normen und Bücher. Die Suche erfolgte sowohl mithilfe gängiger Suchbegriffe auf Deutsch, Französisch und Englisch via Suchportale wie Google Scholar wie auch indirekt über zitierte Quellen in ausgewerteter Literatur.

Die so ausgewählte Literatur ist überschaubar; bestimmte Quellen werden wiederkehrend zitiert. Darum ist es wahrscheinlich, dass die für dieses Forschungsprojekt ausgewertete Literatur einen Grossteil der bestehenden Literatur abdeckt.

Die verwendete Literatur ist in einer Tabelle zusammengefasst, vergleiche Anhang 0. Nebst einer kurzen Zusammenfassung sind auch Anmerkungen zu weiteren Kategorien wie Ansatz der Methode, untersuchte Verkehrsmodi etc. in der Übersichtstabelle enthalten. So ist auf einen Blick ersichtlich, welche Quellen zu welchen Aspekten herangezogen werden können. Zudem wurde mittels dieser Systematik die Literatur drei verschiedenen Ansätzen zugeordnet: Jede Publikation ist entweder dem Top-down Ansatz, Bottom-up Ansatz oder dem MFD-Ansatz zugeordnet (vgl. Kapitel 2.2). Die Kapitel 2.3 bis 2.5 erläutern diese drei Ansätze zur Ermittlung des Flächenverbrauchs und stellen jeweils eine typische Publikation vor. Schliesslich wurde die Literatur bezüglich ihrer Eignung, einen Beitrag zum Vorhaben eine eigene Methode zu entwickeln, eingeteilt und zwar in die folgenden drei Stufen.

**Tief:** Diese Literatur ist für unser Ziel nicht oder nur am Rande brauchbar. Häufig werden hier der Ansatz und die vorgenommenen Berechnungen nicht oder nur teilweise transparent gemacht. Ein weiterer Grund kann ein nicht passender Kontext sein.

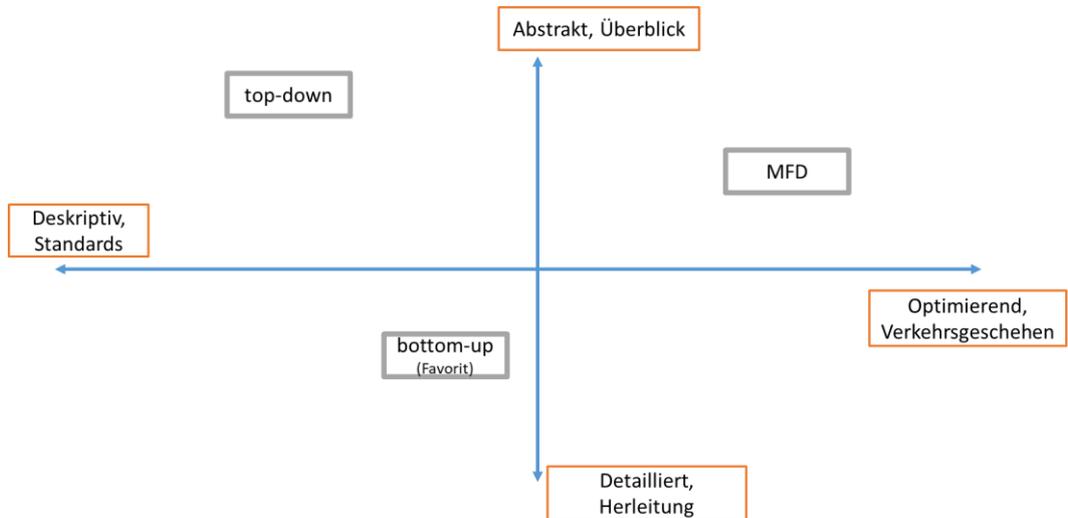
**Mittel:** Diese Literatur enthält entweder interessante Werte oder Teilresultate oder aber präsentiert wichtige Gedanken und Begründungen zum gewählten Vorgehen. Ersteres dient dazu, die durch die zu entwickelnde Methode generierten Werte mit den bestehenden zu validieren. Letzteres ist wertvoll für die Entwicklung der eigenen Methode.

**Hoch:** Die Literatur vermittelt ein konkretes Bild, wie die Bestimmung des Flächenverbrauchs anzugehen ist. Die dafür nötigen Daten werden ausgewiesen. Das gewählte Vorgehen wird begründet und validiert. Die ausgeführten Ansätze können von uns zumindest teilweise übernommen werden (z. Bsp. mathematische Gleichungen).

### 2.2 Systematik

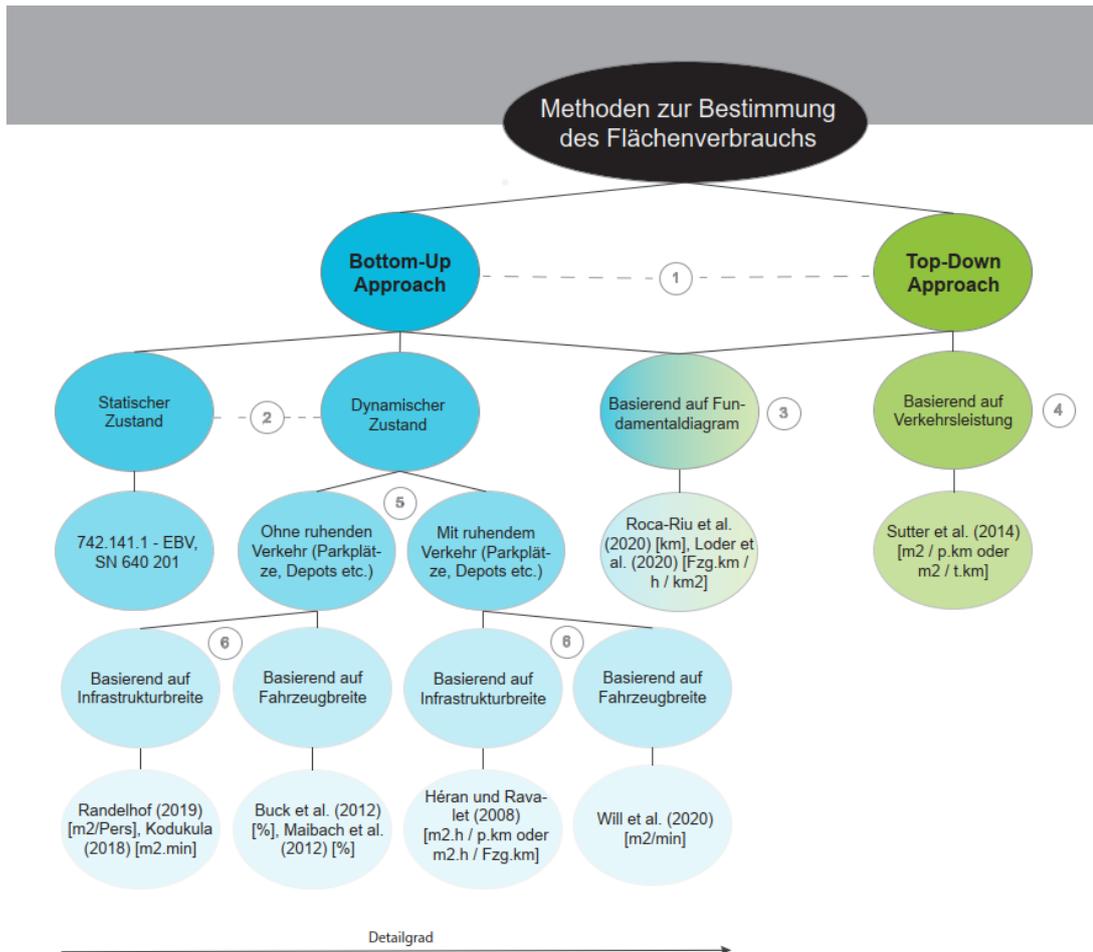
Ziel der Literaturrecherche ist es, einen fundierten Überblick über die verschiedenen Zugänge zur Thematik zu gewinnen und überzeugende Ansätze zu identifizieren. Die verfügbaren Quellen wurden systematisch ausgewertet (siehe illustrativen Auszug aus separater Excel-Dokumentation im Anhang I.2). Es zeigt sich, dass eine Einteilung entlang der Dimensionen deskriptiv vs. optimierend einerseits und abstrakt vs. detailliert andererseits Sinn macht. So lässt sich die Literatur in drei grosse Gruppen einteilen: in Top-down Ansätze, in Bottom-up Ansätze und in Ansätze im Zusammenhang mit dem makroskopischen Fundamentaldiagramm (MFD). Erstere haben den Vorteil, dass sie relativ standardisiert allgemeine Zusammenhänge abbilden und somit auch auf räumlich höherer Aggregationsebene vergleichbare Aussagen machen können. Bottom-up Ansätze haben den Vorteil, dass sie ihre Annahmen dem lokalen Kontext entsprechend differenziert begründen und somit für verkehrsplanerische Fragestellungen Aussagen machen können. Die MFD-Ansätze schliesslich haben den Vorteil, dass sie den direkten Bezug zum eigentlichen Verkehrsge-

schehen herstellen und Aussagen in Abhängigkeit der angestrebten (optimierten) Verkehrsplanung machen können. Diese gewählte Systematik der analysierten Literatur ist in *Abb. 4* dargestellt.



**Abb. 4** Einordnung der verschiedenen Literaturtypen.

Diese grobe Einteilung der vorhandenen Literatur lässt sich weiter verfeinern und anhand relevanter Forschungsfragen aufschlüsseln (*Abb. 5*). Diese Systematik macht deutlich, dass der zu wählende Ansatz stark von der Fragestellung abhängig ist. Interessiert die Nachvollziehbarkeit im Einzelfall, und diesen Anspruch hat dieses Forschungsprojekt, sind Top-down Ansätze nicht geeignet (1). Insgesamt kommen nur Bottom-up Ansätze in Frage, wenn das Thema systemisch angegangen werden soll. Im Grundsatz sind mindestens zwei Perspektiven möglich: Vom Fahrzeug herdenkend (Verkehrsverhalten, technische Entwicklung usw.) oder von der Infrastruktur herdenkend (Dimensionierung, Regelung etc.). Diese Brücke vermögen v.a. MFD-Ansätze zu schlagen (3). Innerhalb der Bottom-up Ansätze kann die statische oder dynamische Seite betont werden (2). Statisch heisst, dass sich die Dimensionen am Referenzobjekt (Fahrzeug oder Infrastruktur) orientieren. Dynamisch heisst, dass in Betracht gezogen wird, dass sich der Flächenbedarf je nach Geschwindigkeit ändert und zunimmt (Abstände, Sichtweiten etc.). Diese Ansätze sind den statischen überlegen, weil sie der verkehrsplanerischen Realität besser entsprechen. Innerhalb dieser Ansätze blenden einige die Nebenflächen wie Parkplätze oder Depots aus, andere inkludieren sie auf verschiedene Weise (5). Auswertungen zeigen, dass Nebenflächen einen substantziellen Anteil am gesamten Flächenverbrauch ausmachen. Schliesslich lässt sich argumentieren, ob die Kenngrössen primär von der Infrastruktur, d.h. meistens der Spurbreite, oder primär von den Fahrzeugmassen, d.h. meistens der Fahrzeugbreite, hergeleitet werden soll (6). Grundsätzlich ist diese Unterscheidung weniger relevant, da sich die zwei Grössen häufig gegenseitig beeinflussen. So berichtet die Literatur an verschiedenen Stellen, dass sich Fahrbahnbreiten oder die Normgrösse beispielsweise von Parkplätzen an der Grössenentwicklung der Fahrzeuge orientiert und umgekehrt gewisse Verkehrsinfrastruktur nur für gewisse Fahrzeuggrössen zugelassen wird.



**Abb.5** Systematik der ausgewerteten Literatur

Die in Kreisen abgebildeten Zahlen haben folgende Bedeutung:

1. Summe vs. Einzelfall
2. Stehend vs. fahrend (Fläche entlang Trajektorie)
3. Interaktion Netz und Fahrzeug
4. z.B. FzKm eines Jahres
5. Verkehrsfläche vs. Nebenfläche
6. Schattenwurf vs. Infrastrukturdimensionierung (Fläche neben Trajektorie)

## 2.3 Literatur Bottom-up Ansätze

### 2.3.1 Eigenheiten und zentrale Erkenntnisse

Beim Bottom-up Ansatz wird von einzelnen Verkehrsmitteln ausgegangen, um den Flächenverbrauch zu bestimmen. Die benötigten Messungen werden an einzelnen Situationen durchgeführt und nur begrenzt aggregiert oder gebündelt.

Es bestehen unterschiedliche Methoden zur Flächenermittlung, die auf dem Bottom-up Ansatz beruhen. Meist haben sie folgende Variablen gemeinsam, die zur Bestimmung des Flächenverbrauchs verwendet werden: Die lateral benötigte Fläche, der Abstand zwischen zwei Fahrzeugen, die Größe des Fahrzeuges und die Dauer, während der die Fläche verwendet wird. Letztere Variable ist eine Funktion der Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Fährt ein Transportmittel schneller, nimmt der Flächenverbrauch ab, da die Fläche weniger lang

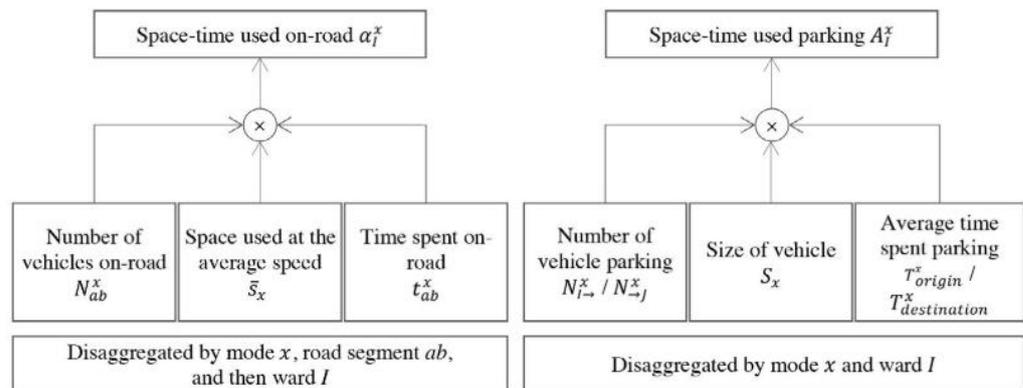
in Anspruch genommen wird (dafür steigen die Abstände). Es wird also berücksichtigt, dass eine bestimmte Fläche je nach Betrachtungszeitpunkt von unterschiedlichen Verkehrsmitteln beansprucht wird. Ein sehr einfaches Beispiel eines Bottom-up Ansatzes wäre die Multiplikation der Spurbreite mit dem Abstand zwischen zwei Fahrzeugen, dividiert durch die durchschnittliche Belegung eines Fahrzeuges und die durchschnittliche Dauer zur Bewältigung der zurückgelegten Distanz der Fahrzeuge. Zur Bestimmung der lateralen Breite wird teilweise die Spurbreite verwendet und teilweise die Breite des Lichtraumprofils eines Fahrzeuges. Das heisst, gewisse Ansätze stützen sich auf Masse der Infrastruktur (Fahrbahn), andere auf die Masse der Fahrzeuge.

Der Bottom-up Ansatz führt zu einem sehr detailreichen Ergebnis, das dem lokalen Kontext und somit auch dem baulichen Umfeld gut entsprechen können. Besonders für verkehrsplanerische Fragestellungen ist der Bottom-up Ansatz deshalb gut geeignet. Aufgrund dieses hohen Differenzierungsgrades ist dieser Ansatz aber auch aufwändig. Zudem können mit diesem Ansatz berechnete Ergebnisse nicht ohne Weiteres auf einen anderen Kontext, z. B. einen anderen Raum, übertragen werden.

### 2.3.2 Beispiele Bottom-up Ansatz

Will et al. (2020) gehen der Frage nach, wie der Platzverbrauch verschiedener Transportmittel im urbanen Kontext ausfällt, wo die Platzverhältnisse oftmals stark eingeschränkt sind. Die Studie behandelt den Flächenverbrauch in der indischen Grossstadt Rajkot im Bundesstaat Gujarat. Die von Will et al. ermittelte Methode basiert auf dem Raum-Zeit Konzept. Es wird betrachtet, wieviel Fläche je Verkehrsmittel und Fortbewegungsart in einem gewissen Zeitraum beansprucht wird. Zusätzlich berücksichtigen sie auch die Nebenflächen für den ruhenden Verkehr. Will et al. (2020) verwenden zur Berechnung der Flächenwerte ein empirisches Model, das auf Videoanalysen basiert. Es eignet sich besser als die fixe Breite der Infrastruktur, da im Kontext von Indien viele Motorfahräder auf den Strassen vorkommen, welche tendenziell weniger Breite einnehmen als Autos.

Die folgende Abbildung zeigt in graphischer Form auf, wie die Autoren den Gesamtflächenverbrauch ermittelt haben. Die einzelnen Schritte werden anschliessend genauer erläutert.



**Abb.6** Graphische Darstellung der Ermittlung des Flächenverbrauchs des rollenden Verkehrs (links) und des Flächenverbrauchs des ruhenden Verkehrs (rechts) eines Verkehrsmittels (Will et al., 2020); die Variablen werden nachfolgend erläutert.

## Flächenverbrauch des rollenden Verkehrs

Um den Flächenverbrauch der sich bewegenden Fahrzeugen verschiedener Verkehrsmittel festzustellen, werden durch die Autor\*innen vier verschiedene Variablen bestimmt. Zunächst hat das Forschungsteam die Stadt in definierte Perimeter unterteilt. In einem solchen werden die im Folgenden ermittelten Werte je Streckenabschnitt aufsummiert.

In einem **ersten Schritt** wird die Anzahl Fahrzeuge eines Verkehrsmitteltyps  $x$  auf einem Streckenabschnitt  $ab$  bestimmt. Hierfür wird folgende Formel verwendet:

$$N_{ab}^x = \frac{f_{ab}^x}{R_x}$$

Wobei  $N_{ab}^x$  die Anzahl Fahrzeuge eines bestimmten Typs  $x$  auf einem Strassensegment  $ab$  darstellt und  $f_{ab}^x$  die tägliche Anzahl Passagiertrips, die mit dem Verkehrsmittel vom Typ  $x$  auf dem Strassensegment  $ab$  zurückgelegt werden. Damit ergibt sich der durchschnittliche Tägliche Verkehrsfluss.  $R_x$  steht für den Belegungsgrad eines Fahrzeuges des Typs  $x$ . Die Flüsse je Segment kommen aus einem validierten Verkehrsmodell.

In einem **zweiten Schritt** wird bestimmt, wieviel Fläche durch verschiedene Verkehrsmittel konsumiert wird. Hierfür wird mithilfe von Geschwindigkeitsmessungen in Rajkot die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der verschiedenen Verkehrsmittel gemessen. Der Flächenverbrauch wird anschliessend mithilfe der Geschwindigkeitsangaben sowie einem empirischen Model bestimmt. Das empirische Model basiert auf Videoanalysen des rollenden Mischverkehrs in Hanoi, Vietnam, und wurde von Sano et al. (2012) entwickelt. Die im Kontext von Rajkot bestimmten Flächenwerte sowie die korrespondierenden Geschwindigkeiten können in *Tab. 1* eingesehen werden.

**Tab. 1** Dynamische Flächenwerte im Kontext von Rajkot, Indien (Will et al., 2020)

Modus	Durchschn. Geschw. [km/h]	Durchschn. dyn. Raumbedarf [m <sup>2</sup> ]
PW	22	20
Bus	16	55
Auto rickshaw	16	15
Motorfahrrad	16	5.5
Velo	11	3.9
Fussgänger*in	4.7	1.4

Mithilfe der folgenden Formel wird in einem **dritten Schritt** bestimmt, wie lange ein Verkehrsmittel auf einem bestimmten Streckenabschnitt verweilt.

$$t_{ab}^x = \frac{l_{ab}}{\bar{v}_x}$$

Wobei  $l_{ab}$  die Länge des Strassenabschnittes darstellt und  $\bar{v}_x$  die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Verkehrsmittels von Typ  $x$ .  $t_{ab}^x$  stellt die zu ermittelnde Verweildauer dar.

Schliesslich wird im **vierten Schritt** die Zeit-Fläche bestimmt, die alle Fahrzeuge eines bestimmten Typs in einem definierten Perimeter benötigen. Folgende Gleichung wird dazu angewendet:

$$a_l^x = \sum_{(ab) \in l} \bar{s}_x * t_{ab}^x * N_{ab}^x$$

Wobei  $a_l^x$  die totale Fläche darstellt, die von Verkehrsmitteln des Typs  $x$  in einem definierten Perimeter beansprucht wird.  $\bar{s}_x$  ist die durchschnittliche Zeit-Fläche, die von einem Verkehrsmittel des Typs  $x$  bei einer Geschwindigkeit von  $\bar{v}_x$  konsumiert wird (aus Schritt 2).  $N_{ab}^x$  steht für die Anzahl Fahrzeuge eines bestimmten Typs  $x$  auf einem Strassensegment  $ab$  (aus Schritt 1) und  $t_{ab}^x$  steht für die Dauer, welche die Fahrzeuge eines bestimmten Typs  $x$  auf einem Strassensegment  $ab$  am Tag verbringen (aus Schritt 3).

Vereinfacht zusammengefasst haben Will et al., (2020) die Dauer eines Verkehrsmittels auf einem Streckenabschnitt, die Anzahl Fahrzeugen dieses Verkehrsmittels auf einem Streckenabschnitt und den Flächenverbrauch bei durchschnittlicher Geschwindigkeit je Verkehrsmittel auf dem Streckenabschnitt bestimmt. Diese drei Werte haben sie multipliziert und über alle Strecken des definierten Perimeters aufsummiert und damit die gewünschte Zeit-Fläche bestimmt, die in  $\text{km}^2/\text{Tag}$  ausgedrückt wird.

### Nebenverkehrsflächen

Neben dem Flächenverbrauch von fahrenden Fahrzeugen wird auch der Flächenverbrauch bestimmt, welcher von ruhenden Fahrzeugen beansprucht wird. Damit ist die Fläche gemeint, die durch parkierte oder abgestellte Fahrzeuge eingenommen wird, wie zum Beispiel ein Auto auf einem Parkplatz oder ein Bus in einem Depot.

Hierzu hat das Forschungsteam die Anzahl parkierte Fahrzeuge  $N^x$  des Typs  $x$  im Ausgangsperimeter  $I$  und im Zielperimeter  $J$  der Stadt bestimmt. Die Idee hierbei ist, dass ein Fahrzeug vor Beginn eines Trips abgestellt ist und auch nachdem die Destination erreicht ist, parkiert werden muss. Zudem hat das Forschungsteam den typischen Flächenverbrauch  $S_x$  eines parkierten Fahrzeuges des Typs  $x$  bestimmt. Zuletzt wurden die Dauern  $T_{origin}^x$  und  $T_{destination}^x$  bestimmt, welche die Fahrzeuge des Typs  $x$  in den Perimetern am Ausgangs- und am Endpunkt einer Fahrt  $ab$  parkiert sind. Damit ergibt sich das vollständige Bild: Die Zeit, die ein Fahrzeug fährt (vgl. oben: Flächenbedarf des rollenden Verkehrs) ist bekannt und die übrige Zeit wird dem ruhenden Verkehr als Zeit-Raum zugeschlagen.  $T_{origin}^x$  und  $T_{destination}^x$  stellen somit diese Zeitdauern dar.

Wie folgt wurde zum Schluss der statische Zeit-Flächenbedarf  $A_l^x$  bestimmt:

$$A_l^x = S_x * N_{I \rightarrow J}^x * T_{origin}^x + S_x * N_{J \rightarrow I}^x * T_{destination}^x$$

Der gesamte Flächenverbrauch ergibt sich schliesslich aus der Summe des Flächenverbrauchs des rollenden Verkehrs ( $a_l^x$ ) und des Flächenverbrauchs des ruhenden Verkehrs ( $A_l^x$ ). Er wird in  $\text{km}^2/\text{Tag}$  angegeben. Die Resultate ergeben, dass der ruhende Verkehr rund 80% der Gesamtfläche ausmacht und dass die Modi Auto und Motorfahräder den deutlich grössten Flächenbedarf haben.

## 2.4 Literatur Top-down Ansätze

### 2.4.1 Eigenheiten und zentrale Erkenntnisse

Der Top-down Ansatz behandelt das Thema auf hoher Flugebene. Im Vergleich zum Bottom-up Ansatz werden die Fahrzeuge nicht einzeln betrachtet, sondern aggregiert als Gruppe über eine längere Zeit. Der Top-down Ansatz geht meist von einer bestimmten und bekannten Verkehrsleistung je Modus aus, um den Flächenverbrauch eines Verkehrsmittels zu bestimmen. Meist wird die Verkehrsleistung einer häufig gewählten Erhebungsperiode (z.B. DTV) durch die benötigte Verkehrsfläche dividiert. Daraus resultiert eine Einheit, welche die Fahrzeugkilometer ins direkte Verhältnis zur benötigten Fläche (z.B.  $\text{km}^2$ ) stellt. Daten, die zur Berechnung des Flächenverbrauchs mit diesem Ansatz benötigt werden, sind in vielen Fällen vorliegend in Form von nationalen Statistiken und Messungen.

Top-down Ansätze sind besonders gut für allgemeine Vergleiche des Flächenverbrauchs zwischen Verkehrsmitteln geeignet. Da die so generierten Werte auf einer gröberen Basis beruhen als die Werte eines Bottom-up Ansatzes sind sie jedoch weniger für planerische

oder umwelttechnische Fragen geeignet, die spezifischere Werte benötigen. Im Gegensatz zu Bottom-up Ansätzen ist die Erhebung von Top-down Daten deutlich weniger aufwändig, dafür ist der Bezug zum realen Verkehrsgeschehen kleiner.

## 2.4.2 Beispiel Top-down Ansatz

Sutter und Phillip (2014) betonen die wirtschaftliche Bedeutung der Verkehrsinfrastruktur und gleichzeitig deren negative Konsequenzen für die Umwelt als Ausgangspunkt für ihre Studie zum Flächenverbrauch. Ihr Ziel ist es, bisherige Ansätze aus unterschiedlichen Kontexten zusammenzufassen und zu erweitern. Sutter und Phillip führen die Studie im Schweizer Kontext durch.

Sie bestimmen den Flächenverbrauch mit Hilfe der jährlichen Verkehrsleistung verschiedener Verkehrsträger sowie der gesamten – das heisst nationalen – Verkehrsfläche, die sie in Anspruch nehmen. Es wird unterschieden zwischen dem Flächenverbrauch von Strassenverkehr und Schienenverkehr und diese Kategorien werden mithilfe eines Schlüssels wiederum unterteilt in Langsamverkehr, Autos, Lastwagen, Sattelschlepper, Cars, öffentliche Autobusse, Trolleybusse, Personenverkehr auf der Schiene und Güterverkehr auf der Schiene.

Der Allokationsschlüssel sieht wie folgt aus:

$$F_{km} * L_{Fzg}$$

Wobei  $F_{km}$  für Fahrzeugkilometer steht und  $L_{Fzg}$  für die Fahrzeuglänge, respektive im Falle eines Zuges für die mittlere Achsenanzahl.

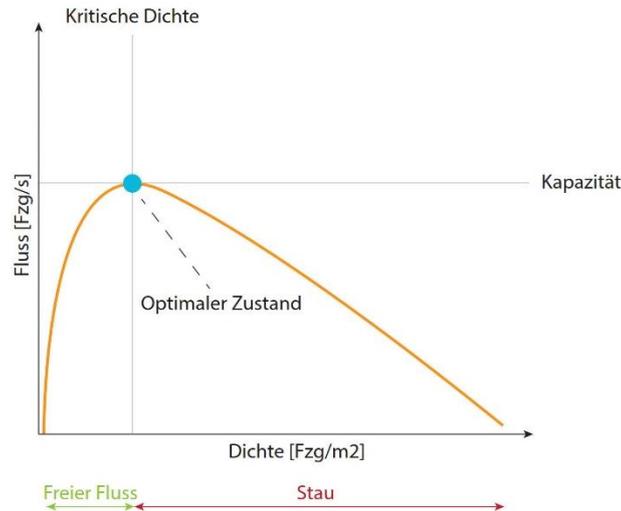
Die zur Berechnung des Flächenverbrauchs nötigen Flächenangaben können gemäss den Autoren basierend auf zwei Grundlagen ermittelt werden: Erstens durch die Schweizer Arealstatistik und zweitens mithilfe einer GIS-Software, mit welcher die Infrastrukturlänge bestimmt wird und damit wiederum die Fläche grob abgeschätzt wird. Sie betonen, dass zur Bestimmung der Fläche mithilfe einer GIS-Software eine Annahme zur Breite der Verkehrsinfrastruktur nötig ist. Im Gegensatz zur Arealstatistik kann mithilfe der GIS-Software allerdings eine feinere Unterscheidung der Strassenkategorien erstellt werden. So lässt sich zum Beispiel die Verkehrsfläche der Schweiz für den Autobahn- und Autostrassenverkehr bestimmen. Die Autoren schätzen die Arealstatistik insgesamt dennoch als besser geeignete Methodik zur Ermittlung des Flächenverbrauchs ein, da keine Annahmen zur Breite der Infrastruktur gemacht werden müssen. Zentrales Element ist der Allokationsschlüssel, über den auch der Fall Mischverkehr modelliert wird.

Die so ermittelten Flächenwerte werden in einem weiteren Schritt durch die jährliche Verkehrsleistung des zugehörigen Verkehrsträgers geteilt. Die Verkehrsleistung wird im Falle des Personenverkehrs in pkm angegeben, im Falle des Güterverkehrs in tkm. Das Resultat dieser Division ergibt schliesslich einen Flächenverbrauchswert der Einheit Fläche pro Verkehrsleistung (z.B.  $m^2 / pkm$  und Jahr). Diese standardisierte Werte lassen einen einfachen Vergleich unter den erhobenen Verkehrsträgern zu.

## 2.5 Literatur Fundamentaldiagramm (MFD)

### 2.5.1 Eigenheiten und zentrale Erkenntnisse

Der Ansatz mit Hilfe des makroskopischen Fundamentaldiagrammes, MFD, vereint Überlegungen sowohl des Top-down wie auch des Bottom-up Ansatzes und fokussiert primär auf die Bestimmung des Verhältnisses von Verkehr zur Fläche und weniger auf die eigentliche Flächenermittlung. *Abb. 7* zeigt ein fiktives Fundamentaldiagramm.



**Abb.7** Fiktives Fundamentaldiagramm (eigene Abbildung).

Ein makroskopisches Fundamentaldiagramm stellt für ein definiertes Verkehrsnetz die Verkehrsdichte, den Verkehrsfluss und die Geschwindigkeit zueinander ins Verhältnis. Mit diesen drei Komponenten kann schliesslich der konkrete Flächenverbrauch bestimmt werden. Diese Funktionen sind spezifisch für jedes Netz und müssen über Messungen ermittelt werden. Die Dichte wird auf der x-Achse abgebildet und der Fluss auf der y-Achse. Die korrespondierende Geschwindigkeit entspricht der Steigung des Diagramms am entsprechenden Punkt auf der Kurve (Division Fluss durch Dichte ergibt Geschwindigkeit). Der höchste Punkt auf dem Fundamentaldiagramm ist die maximale Kapazität des Netzes, wobei alle Punkte links dieses Punktes auf eine ungenügend ausgenutzte Verkehrsinfrastruktur und alle Punkte rechts davon auf Stau hindeuten. Darin liegt auch ein grosser Vorteil des Fundamentaldiagrammes, nämlich die Bestimmung des Flächenverbrauchs für verschiedene Belastungen der Verkehrsinfrastruktur. Eine Möglichkeit einen Vergleich verschiedener Transportmittel zu ziehen, wäre die Berechnung des Verbrauchs bei jeweils voll ausgenutzter Verkehrsinfrastruktur (bei maximalem Fluss).

Ein weiterer Vorteil des MFD ist, dass dieses den dynamischen Zustand des Verkehrssystems innerhalb eines Perimeters abbilden kann. Das heisst, neben dem Vergleich bei Optimalzustand (maximaler Fluss bei gegebener Infrastruktur) kann der Vergleich auch unter Verwendung des real stattfindenden Verkehrsgeschehens durchgeführt werden – vorausgesetzt die entsprechenden Messungen liegen vor. Grundlagen zur Messung der benötigten Werte, wie zum Beispiel Induktionsstreifen, sind in vielen zu untersuchenden Räumen vorhanden. Dies gilt insbesondere für den städtische Kontext.

Das Fundamentaldiagramm kann zudem erweitert werden zu einem multimodalen Fundamentaldiagramm, das verschiedene Verkehrsmittel abbildet und nicht nur ein einzelnes. Dies erlaubt den direkten Vergleich des Flächenverbrauchs verschiedener Verkehrsmittel.

Ein Nachteil des MFD-Ansatzes ist, dass in der Literatur oftmals keine konkreten Flächenwerte für verschiedene Verkehrsmittel ermittelt werden. Stattdessen werden Kapazitätswerte von Verkehrsnetzen bestimmt. Diese funktionieren als Proxy für den Flächenverbrauch. Zudem können die benötigten Messwerte schnell zu grossen Datenmengen führen.

## 2.5.2 Beispiel MFD-Ansatz

Gonzales (2011) basiert seine Berechnungen zur Bestimmung des Flächenverbrauches verschiedener Verkehrsmittel auf dem Fundamentaldiagramm. Er bezeichnet den Flächenbedarf eines Fahrzeuges als dessen Fussabdruck und beschreibt diesen als eine sich bewegende Fläche, die für ein Fahrzeug für die Dauer eines Trips frei sein muss, um entlang des Verkehrsnetzes von A nach B zu gelangen. Der Flächenverbrauch wird also durch eine Flächenkomponente und eine Zeitkomponente ausgedrückt. Die Flächenkomponente besteht einerseits aus der Breite der Infrastruktur, auf der sich ein Fahrzeug fortbewegt (im Falle eines Autos die Spurbreite der Strasse). Andererseits spielt auch der durchschnittliche Abstand zwischen Fahrzeugen eine Rolle. Der durchschnittliche Abstand zwischen Fahrzeugen entspricht dem Kehrwert der Fahrzeugdichte. Die Multiplikation der Infrastrukturbreite mit dem Kehrwert der Dichte ergibt somit die Flächenkomponente des Fussabdruckes. Bei der Zeitkomponente des Fussabdruckes handelt es sich um die Dauer des Trips. Multipliziert man die Flächenkomponente mit der Zeitkomponente erhält man den Fussabdruck respektive die durch ein Verkehrsmittel verbrauchte Fläche. Die Einheit der Fläche gibt der Autor in  $s^2/m^2$  / Person an (Sekundenquadratmeter pro beförderte Person). Diese Berechnungen folgen hier Schritt für Schritt.

$$r = \frac{wt_m}{kc} \quad (1)$$

Wobei  $r$  für den Fussabdruck eines Fahrzeuges steht,  $w$  für die Spurbreite,  $t_m$  für die Dauer des Trips,  $k$  für die Verkehrsdichte und  $c$  für die Anzahl Trips pro Fahrzeug oder den Belegungsgrad des Fahrzeuges. Folgt ein tiefstehendes  $m$  auf eine Variable, wie dies zum Beispiel bei  $t_m$  der Fall ist, bedeutet dies, dass der Wert der zugehörigen Variable dem Wert am Kapazitätsmaximum, respektive der kritischen Dichte entspricht (siehe Abb.7).

Die Dauer eines Trips ( $t_m$ ) kann auch bestimmt werden, indem die Länge eines Trips ( $d$ ) durch die durchschnittliche Geschwindigkeit der betrachteten Fahrzeuge bei kritischer Dichte im untersuchten Perimeter ( $v_m$ ) geteilt wird. Die Länge des Trips ist entscheidend: Sie kann entweder der Länge der betrachteten Strecke entsprechen oder aber aus einer Statistik hergeleitet werden wie z. Bsp. die durchschnittliche Weglänge

$$t_m = \frac{d}{v_m} \quad (2)$$

Die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Verkehrsnetzes bei einem bestimmten Verkehrszustand ist im Fundamentaldiagramm durch die Steigung der Kurve bei diesem Zustand gegeben. Die Geschwindigkeit kann somit auch durch die Division des Verkehrsflusses ( $q$ ) mit der Verkehrsdichte ( $k$ ) bestimmt werden.

$$v_m = \frac{q_m}{k} \quad (3)$$

Setzt man nun die Formeln (2) und (3) in Formel (1) ein, so erhält man für den Fussabdruck folgende Formel:

$$r = \frac{wd}{q_m c}$$

Der Flächenverbrauch eines Verkehrsträgers berechnet sich somit, indem die Multiplikation der Spurbreite mit der Länge eines Trips durch die Multiplikation des Fahrflusses bei kritischer Dichte mit der durchschnittlichen Fahrzeugbelegung dividiert wird.

Gonzales (2011) nimmt an, dass die Triplänge für alle Nutzer\*innen jeweils immer gleich ist. Dies ist wichtig, da bei sich ändernder Triplänge unterschiedlich viel Fläche konsumiert wird, wenn zu dessen Berechnung die obige Formel angewendet wird. Sowohl der Belegungsgrad, die Spurweite sowie die Dichte variieren nur gering, wenn sich die Triplänge verändert. Es würde sich demnach nur eine Variable der Formel (1) ändern, nämlich die Triplänge. Eine grössere Triplänge würde gemäss obiger Formel somit auch zu einem

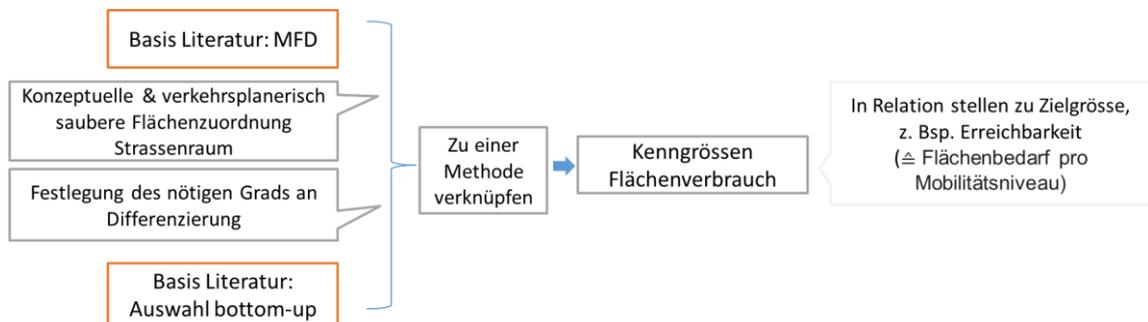
grösseren Flächenverbrauch führen. Ist ein Vergleich des Flächenverbrauchs verschiedener Verkehrsträger gewünscht, ist es deshalb wichtig dieselbe Triplänge zu wählen, um einen gerechten Vergleich zu gewährleisten.

Der Flächenverbrauch (Fussabdruck) eines Verkehrsträgers wird minimiert, je näher der Verkehrsfluss an sein Maximum (Zustand der kritischen Dichte) kommt. Sind zu viele Personen gleichzeitig unterwegs (Phase des Fundamentaldiagramms rechts der kritischen Dichte) oder wird die Fläche nicht komplett ausgenutzt (Phase des Fundamentaldiagramms links der kritischen Dichte) nimmt der Flächenverbrauch eines Verkehrsträgers zu. Anders ausgedrückt führt eine ineffiziente Ausnutzung der Infrastruktur (zu wenig oder zu viele Fahrzeuge auf Infrastruktur) zu einem erhöhten Flächenverbrauch. Stau ist doppelt verschwenderisch, da nicht nur mehr Fläche konsumiert wird, sondern zudem Verspätungen entstehen. Dies wiederum kann zu weiteren negativen Externalitäten, wie erhöhtem Stress der Fahrer\*innen oder negativen Auswirkungen auf die Produktivität der Wirtschaft führen.

Die so generierten Resultate der Studie zeigen, dass die Modi des öffentlichen Verkehrs den geringsten Flächenverbrauch ausweisen, gefolgt vom Fuss-, dem Veloverkehr und mit grossem Abstand schliesslich dem Autoverkehr. Bei diesem macht der ruhende Verkehr einen sehr grossen Anteil am Flächenbedarf aus.

## 2.6 Zwischenfazit

Insgesamt ist eher wenig Literatur zum Thema Flächenverbrauch im Verkehr vorhanden und schon gar nicht ein Standardwerk mit einer gefestigten Methodik. Trotzdem konnten einige interessante in- und ausländische Studien ausgewertet werden. Dabei hat sich gezeigt, dass eine exakte Prüfung bzw. Definition der verwendeten Begriffe, Einheiten und Bezugsgrößen nötig ist (vgl. Kapitel 3.1). Dies ist nicht bei allen gefundenen Quellen der Fall. Gesamthaft kann festgehalten werden, dass Angaben zu Flächen wie etwa Fahrzeugdimensionen oder zur Infrastruktur in der Regel vorhanden sind. Dazu zählen Quellen wie Normen, deskriptive Publikationen, Datensammlungen sowie GIS-Portale und Statistiken. Nötig für die formulierten Forschungsfragen sind jedoch Ansätze, die es schaffen, Informationen differenziert zu verknüpfen. Damit sind Ansätze gemeint, die nicht nur Masse ausweisen (Querschnitt einer Strasse, Länge und Takt eines Busses etc.), sondern die Masse in einen verkehrlichen Kontext mit unterschiedlichen Flächenbedürfnissen bringen und am Ende eine nachvollziehbare Zuweisung von Flächen zu Verkehrsmitteln erlauben. Das setzt voraus, dass das reale Verkehrsgeschehen in seinen Flächenzusammenhängen korrekt erfasst wird. Hierzu ist gemäss studierter Literatur a) die Erfassung mit Video geeignet oder b) die Erfassung über das (makroskopische) Fundamentaldiagramm. Ersteres kann für grössere Flächen aufwändig sein, letztere Daten liegen zumindest für ausgewählte Räume in der Schweiz vor (vgl. Kapitel 2.5). Konzeptionelle Publikationen, in denen die Frage nach einer gerechtfertigten Zuordnung von Flächen aus verkehrsplanerischer Sicht beantwortet werden, fehlen komplett. Eine gut begründete Zuordnung und Abgrenzung von Flächen zu den verschiedenen Verkehrsmitteln ist in der vorliegenden Forschungsarbeit speziell zu beachten. Dazu kommt die Festlegung des nötigen Grades an Differenzierung sowie die Verknüpfung zum realen Verkehrsgeschehen. Daraus ergibt sich nach Analyse der vorhandenen nationalen und internationalen Literatur das Vorgehen gemäss der folgenden Abbildung.



**Abb.8** Erkenntnis aus der Literaturanalyse und grobschematisches weiteres Vorgehen zur Entwicklung der Methodik.



## 3 Methodisches Konzept

### 3.1 Grundsätze und Begriffsverständnis

Wie die Literaturanalyse zeigt, besteht keine gefestigte Methodik und entsprechend keine einheitliche Begrifflichkeit, Einheiten und Berechnungen. Dies wird hier geklärt.

Bisher wurden die Hauptkategorien Top-down und Bottom-up verwendet. Top-down Ansätze dividieren in der Regel eine statistisch erhobene Verkehrsleistung einer bestimmten Erhebungsperiode durch eine erhobene Verkehrsfläche. Das sind zum Beispiel die Fahrzeugkilometer eines Jahres auf allen Schweizer Autobahnen. Daraus erfolgt eine Grösse im Sinne eines «Fussabdruckes des Verkehrsmittels»; in diesem Fall mit der Einheit  $FzKm/m^2$  des betrachteten Jahres. Diese statische Zuordnung heisst **Flächenverbrauch**. Bottom-up Ansätze gehen von den einzelnen Verkehrsmitteln aus und eruieren, welche Flächen diese Verkehrsmittel in Bewegung oder abgestellt in Anspruch nehmen. Hier wird berücksichtigt, dass eine bestimmte Fläche je nach Betrachtungszeitpunkt von unterschiedlichen Verkehrsmitteln beansprucht wird. Eine Fahrbahn wird sowohl von Autos wie auch von einem Bus befahren oder die Verkehrsbelastung auf einer Sammelstrasse einer Stadt xy variiert über den Tagesverlauf. Daraus erfolgt eine Grösse im Sinne einer «umfassenden Bedarfsabklärung der Flächeninanspruchnahme des Verkehrsmittels»; in diesem Fall häufig mit der Einheit  $FzKm/m^2 \cdot h$ . Diese Grösse heisst **Flächenbedarf** und entspricht auch dem Konzept der **Flächeneffizienz** gemäss Perret et al. (2022).

Die übliche Einheit ist somit «Verkehrsleistung pro Fläche während eines Zeitraums» und kann zum Beispiel  $FzKm/m^2 \cdot h$  oder  $Pkm/m^2 \cdot h$  sein. So beschreibt man die Inanspruchnahme der Fläche während einer Fahrt. Aus dieser dynamischen Formulierung lässt sich eine statische Situation schaffen, indem man die Zeit gegen 0 gehen lässt (Ableitung). Somit fällt die Zeit aus der Einheit und man erhält die Anzahl  $m^2$  pro Fkm, Pkm oder Personen. Die Abbildung von Mischverkehr lässt sich so mit gemittelten Werten abbilden (mittlerer Fluss in einer Stunde zum Beispiel). Mischverkehr ist auf einem Grossteil des Schweizer Strassennetzes die Realität (MIV, ÖV und Velo zum Beispiel). Der Unterschied zwischen  $m^2/FzKm$  und  $m^2/Pkm$  liegt in der Berücksichtigung des Besetzungsgrades. Dabei bleibt es bei den Grössen Fluss  $[Fz/s]$ , Dichte  $[Fz/m^2]$  und Geschwindigkeit  $[km/s]$  und somit ist auch eine Kombination aus Bottom-up bzw. einem Modell zum Flächenbedarf mit dem Ansatz via makroskopisches Fundamentaldiagramm vereinbar. Der Brückenschlag zum MFD ermöglicht so, theoretische Berechnungen zur Flächenbeanspruchung auf reale Werte, die dem eigentlichen Verkehrsgeschehen entspringen, zu eichen. Damit kann sowohl die Ist-Situation abgebildet werden (Verkehrsgeschehen am Ort X im Zeitintervall Y) wie auch der **optimale Flächenbedarf** ermittelt werden (Ist-Soll-Vergleich). MFD sind aber nicht für jede Situation verfügbar. Deshalb ist deren Einsatz optional im Methodenkonzept vorgesehen.

Die Methodik muss Berechnungen so vorsehen, dass alle relevanten Flächen betrachtet werden und zudem die Zuordnung auf die verschiedenen Verkehrsmittel verkehrsplanerisch begründet erfolgt. Zudem soll dabei der Kontext (zeitlich, räumlich, Wechselwirkungen der verschiedenen Verkehrsteilnehmenden) stimmen. Das bedeutet, dass die generierten Resultate pro Verkehrsmittel **je nach Kontext variieren**. Die resultierende Grösse für eine Person, die im Auto fährt, ist je nachdem, ob sie in der Spitzenstunde oder am Nachmittag, ob sie auf einer dicht befahrenen Strasse oder fast leeren Quartierstrasse etc. fährt, eine andere. Dieser Kontext ist bei den Endresultaten jeweils anzugeben.

## 3.2 Herleitung der Methodik und Einflussgrößen

Die Ergebnisse der Literaturanalyse zeigen, dass es grundsätzlich keine richtige oder falsche Methodik für die Berechnung des Flächenverbrauchs gibt. Die unterschiedlichen methodischen Ansätze setzen jeweils auf verschiedene Anwendungsfälle (u.a. deskriptiv, planerisch, optimale Flächenallokation).

**Top-down-Ansätze** setzen vor allem auf Verkehrsträgervergleiche in einer Durchschnittsbetrachtung. Solche Ansätze sind vergleichsweise wenig differenziert, dafür aber deutlich weniger aufwändig. Sie werden deshalb häufig von politisch motivierten Anwendergruppen verwendet (z.B. Publikationen von Verkehrsverbänden).

**Bottom-up-Ansätze** versuchen die baulich-physikalischen Umfeldfaktoren sowie das Verkehrsgeschehen möglichst differenziert abzubilden. Diese Ansätze sind sehr differenziert, können aber auch sehr aufwändig werden und die Übertragbarkeit auf verschiedene Anwendungsfälle ist nur bedingt gegeben. Bottom-Up-Ansätze sind jedoch für verschiedene planerische Anwendungen und umweltpolitische Fragestellungen interessant.

Beide Grundtypen stossen an ihre Grenzen: der Bezug zum realen, sehr dynamischen Verkehrsgeschehen gelingt nur bedingt. Dafür ist ein Ansatz, welcher auf einem (multimodalen) makroskopischen **Fundamentaldiagramm (MFD)** basiert, besser geeignet: Mit einem solchen Diagramm ist es möglich, Inputs zum Verkehrsgeschehen zu generieren sowie Restkapazitäten der betrachteten Verkehrsflächen anhand eines optimalen Zustands zu berechnen. Dies ist letztlich für die Verkehrsplanung entscheidend.

Daraus resultiert, dass eine Ergänzung von differenzierten Bottom-up-Ansätzen mit Überlegungen aus Arbeiten basierend auf dem Fundamentaldiagramm das grösste Potenzial aufweist. Die Kombination wird für die vorliegende Forschungsarbeit verfolgt und vertieft. Im Folgenden wird vorerst ein differenziertes Bottom-up-Modell für die Berechnung des spezifischen Flächenverbrauchs entwickelt.

In einem ersten Schritt werden die möglichen Einflussgrößen des Flächenverbrauchs identifiziert und systematisch klassifiziert (vgl. *Abb. 9*). Die dunkelblauen Kästen zeigen die Elemente / Dimensionen auf, die für die Berechnung des Flächenverbrauchs relevant sein können. Weiter werden die verschiedenen Differenzierungen mit den jeweiligen Ausprägungen aufgelistet.

Verkehrsarten	Raum / Umfeld	Verkehrliche Situation / Organisation Fläche	Physik. Einflussgrösse / Nutzungsintensität	Zeitliche Komponente	Zwecke
<b>Verkehrsträger</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strasse</li> <li>• Schiene</li> <li>• Luft</li> </ul>	<b>Raumtyp</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt(zentrum)</li> <li>• Stadtrand</li> <li>• Agglomeration</li> <li>• Land</li> <li>• Berggebiet</li> <li>• durchschn. CH</li> </ul>	<b>Verkehrsflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemischt vs. Getrennt</li> <li>• Restflächen</li> <li>• Nicht kategorisierbar</li> </ul>	<b>Flächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrzeugfläche</li> <li>• Fläche der Spuren</li> </ul>	<b>Zeitpunkt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Werktags</li> <li>• Wochenende</li> <li>• Zustand</li> <li>• Verkehrssystem</li> <li>• HVZ vs. NVZ</li> </ul>	<b>Verkehrszwecke</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeit</li> <li>• Ausbildung</li> <li>• Einkauf</li> <li>• Freizeit</li> <li>• Geschäftlich</li> </ul>
<b>Verkehrsobjekt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PV</li> <li>• GV</li> </ul>	<b>Lage im Raum</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innerorts: bebaute Gebiete</li> <li>• Ausserorts: unbebaute Gebiete</li> </ul>	<b>fließender / ruhender</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ruhend</li> <li>• &lt; 20 km/h</li> <li>• &lt;= 30 km/h</li> <li>• &lt;= 50 km/h</li> <li>• &gt; 50 km/h</li> </ul>	<b>Fahrgeschwindigkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effektive vs. signalisierte vs. betrieblich optimal</li> <li>• überstrichene Fläche</li> <li>• Bremsweg</li> <li>• Mindestabstand</li> </ul>	<b>Saisonalität</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro Jahr</li> <li>• Saison</li> </ul>	<b>Spez. Einsatzbereiche</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrfache Nutzung derselben Fläche</li> <li>• Öffentliche Grundversorgung vs. privater Verkehr</li> <li>• Anlieferungszeiten</li> <li>• Bus-Spur</li> <li>• temporäre Fahrverbote</li> </ul>
<b>Verkehrsform</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MIV</li> <li>• öV</li> <li>• Fuss- und Velo</li> <li>• Nah-, Regional-, Fernverkehr</li> </ul>	<b>Strassentyp</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergeordnet (HVS)</li> <li>• Sammel, Quartierstrasse</li> </ul>	<b>Parkierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parkplätze MIV privat und öffentlich</li> <li>• öV-Haltestellen</li> </ul>	<b>Leistungsfähigkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximale Kapazität (Fz/h)</li> <li>• Mittlere, effektive Kapazität, Komfort</li> </ul>	<b>Dauer</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stunden</li> <li>• Tage</li> </ul>	
<b>Verkehrsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PW</li> <li>• Motorräder / Scooter</li> <li>• Velo / E-Bikes / Bus / Tram</li> <li>• Lieferwagen</li> <li>• Lastwagen / Sattelschlepper</li> <li>• Zug</li> <li>• Flugzeuge</li> <li>• Mikromobilität</li> </ul>	<b>Räumliche Abgrenzung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Querschnitt</li> <li>• Ebene</li> <li>• Netzwerk, Routen</li> </ul>	<b>Verkehrsmanagement</b> <b>Nebenflächen (Depot)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstellanlagen und Depots für öV-Busse</li> <li>• Betriebliche Flächen</li> <li>• Werkstätte, Tankstellen</li> </ul>	<b>Besetzungsgrad</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Max. Besetzungsgrad</li> <li>• Eff. Besetzungsgrad</li> </ul> <b>Dichte</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichte je nach Verkehrsaufkommen auf identischer Fläche</li> </ul>		

**Abb. 9** Überblick der Einflussgrössen des Flächenverbrauchs und deren Ausprägungen. Einträge in grauer Schrift werden im Rahmen des Forschungsprojekt nicht weiter vertieft (siehe auch Abgrenzungen in Kapitel 1.2).

Als nächstes geht es darum, die (mindestens) benötigten Elemente bzw. Differenzierungen für ein Bottom-up-Modell festzulegen. *Abb. 10* zeigt (orange hervorgehoben), welche Elemente und Ausprägungen für das Bottom-up-Modell möglichst zu berücksichtigen sind. Die Auswahl basiert einerseits auf einer Priorisierung, die mit der Begleitkommission vorgenommen wurde, andererseits berücksichtigt sie auch die verfügbaren Datengrundlagen. Zentrale Elemente sind die Verkehrsarten, die verkehrliche Situation (u.a. Verkehrsflächen des fließenden und ruhenden Verkehrs) sowie die physikalischen Einflussgrössen (Grundfläche, Fluss, Geschwindigkeit, Kapazität, Besetzungsgrad und Dichte). Bei der zeitlichen Komponente werden Dauer der Beanspruchung (Flächenbelegung) sowie Zeitpunkt berücksichtigt. Darauf basierend wird das Bottom-up-Modell stufenweise aufgebaut. Dies ist im nachstehenden Kapitel im Detail erläutert.

Verkehrsarten	Raum / Umfeld	Verkehrliche Situation / Organisation Fläche	Physik. Einflussgrösse / Nutzungsintensität	Zeitliche Komponente	Zwecke
<b>Verkehrsträger</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Strasse</b></li> <li>• Schiene</li> <li>• Luft</li> </ul>	<b>Raumtyp</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stadt(zentrum)</li> <li>• Stadtrand</li> <li>• Agglomeration</li> <li>• Land</li> <li>• Berggebiet</li> <li>• durchschn. CH</li> </ul>	<b>Verkehrsflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gemischt vs. Getrennt</b></li> <li>• <b>Restflächen</b></li> <li>• <b>Nicht kategorisierbar</b></li> </ul>	<b>Flächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fahrzeugfläche</b></li> <li>• <b>Fläche der Spuren</b></li> </ul>	<b>Zeitpunkt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Werktags</li> <li>• Wochenende</li> <li>• Zustand</li> <li>• Verkehrssystem</li> <li>• <b>HVZ vs. NVZ</b></li> </ul>	<b>Verkehrszwecke</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeit</li> <li>• Ausbildung</li> <li>• Einkauf</li> <li>• Freizeit</li> <li>• Geschäftlich</li> </ul>
<b>Verkehrsobjekt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PV</b></li> <li>• GV</li> </ul>	<b>Lage im Raum</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innerorts: bebaute Gebiete</li> <li>• Ausserorts: unbebaute Gebiete</li> </ul>	<b>fließender / ruhender</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ruhend</b></li> <li>• <b>&lt; 20 km/h</b></li> <li>• <b>≤ 30 km/h</b></li> <li>• <b>≤ 50 km/h</b></li> <li>• <b>&gt; 50 km/h</b></li> </ul>	<b>Fahrgeschwindigkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Effektive vs. signalisierte vs. betrieblich optimal</b></li> <li>• <b>überstrichene Fläche</b></li> <li>• <b>Bremsweg</b></li> <li>• <b>Mindestabstand</b></li> </ul>	<b>Saisonalität</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pro Jahr</li> <li>• Saison</li> </ul>	<b>Spez. Einsatzbereiche</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mehrfache Nutzung derselben Fläche</b></li> <li>• Öffentliche Grundversorgung vs. privater Verkehr</li> <li>• Anlieferungszeiten</li> <li>• <b>Bus-Spur</b></li> <li>• temporäre Fahrverbote</li> </ul>
<b>Verkehrsform</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>MIV</b></li> <li>• <b>öV</b></li> <li>• <b>Fuss- und Velo</b></li> <li>• Nah-, Regional-, Fernverkehr</li> </ul>	<b>Strasstyp</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergeordnet (HVS)</li> <li>• Sammel, Quartierstrasse</li> </ul>	<b>Parkierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Parkplätze MIV privat und öffentlich</b></li> <li>• <b>öV-Haltestellen</b></li> </ul>	<b>Leistungsfähigkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Maximale Kapazität (Fz/h)</b></li> <li>• <b>Mittlere, effektive Kapazität, Komfort</b></li> </ul>	<b>Dauer</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Stunden</b></li> <li>• <b>Tage</b></li> </ul>	
<b>Verkehrsmittel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PW</b></li> <li>• <b>Motorräder / Scooter</b></li> <li>• <b>Velo / E-Bikes</b></li> <li>• <b>Bus / Tram</b></li> <li>• <b>Lieferwagen</b></li> <li>• <b>Lastwagen / Sattelschlepper</b></li> <li>• Zug</li> <li>• Flugzeuge</li> <li>• Mikromobilität</li> </ul>	<b>Räumliche Abgrenzung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Querschnitt</li> <li>• <b>Ebene</b></li> <li>• Netzwerk, Routen</li> </ul>	<b>Verkehrsmanagement</b>  <b>Nebenflächen (Depot)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstellanlagen und Depots für öV-Busse</li> <li>• Betriebliche Flächen</li> <li>• Werkstätte, Tankstellen</li> </ul>	<b>Besetzungsgrad</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Max. Besetzungsgrad</b></li> <li>• <b>Eff. Besetzungsgrad</b></li> </ul> <b>Dichte</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dichte je nach Verkehrsaufkommen auf identischer Fläche</b></li> </ul>		

Abb. 10 Überblick der möglichen Elemente des Bottom-up-Modells. Die für das Modell relevanten Ausprägungen je Einflussgrösse sind mit der Farbe Orange hervorgehoben.

### 3.3 Methodik personenspezifischer Flächenverbrauch

#### 3.3.1 Modellaufbau

Das entwickelte Bottom-up-Modell für die Berechnung des spezifischen Flächenbedarfs pro Person besteht aus vier zentralen Berechnungsschritten (vgl. Abb. 11).

Die Schritte 1 bis 3 bilden ein erstes Modul für die Herleitung und Berechnung der spezifisch relevanten Flächen je Verkehrsmittel und Fortbewegungsart (Flächenallokation). Der Schritt 4 ist das zweite Modul und fokussiert auf das Verhältnis von benötigter Fläche zum

Verkehrsaufkommen. Nachfolgend werden die vier Schritte kurz beschrieben. Detail zur Operationalisierung folgen in Kapitel 3.4.

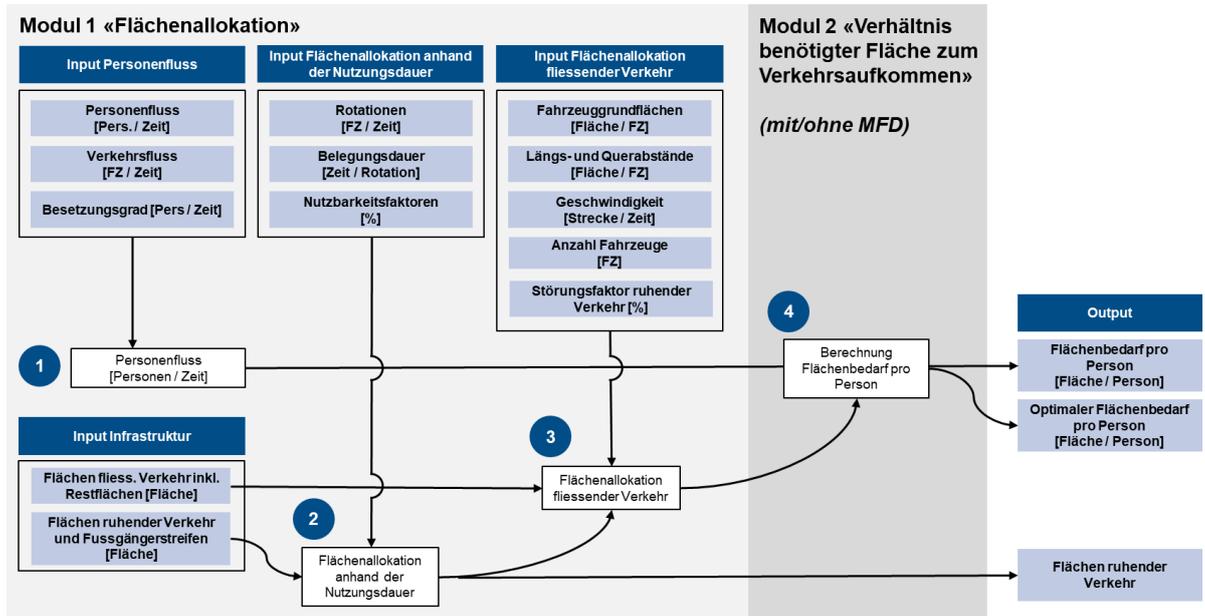


Abb. 11 Aufbau des Modells inkl. Inputs, Berechnungsschritte und Output.

Der Personenfluss wird anhand des Verkehrsgeschehens bestimmt (**Schritt 1**). Je nach Modus ist eine Berechnung aus Verkehrsfluss und Besetzungsgrad erforderlich, oder es ist direkt der Personenfluss bekannt (z.B. Nachfrage ÖV).

Danach wird in **Schritt 2** die Flächenallokation anhand der Nutzungsdauer vorgenommen. Damit erfolgt eine erste Aufteilung von Flächen des ruhenden Verkehrs (Parkierung) und von Fußgängerstreifen. Da die Verkehrsströme auf Fußgängerstreifen nicht gleichgerichtet sind (MIV und Fussverkehrsströme im 90°-Winkel zueinander), kann die Fläche nicht direkt als Fläche des fließenden Verkehrs alloziert werden (vgl. Schritt 3), sondern muss zuerst mit der nutzungsdauerabhängigen Flächenallokation aufgeteilt werden. Die nötigen Inputs sind die verwendete Infrastruktur (d.h. Flächen, die vom ruhenden Verkehr beansprucht werden und Fußgängerstreifenfläche) sowie Kennzahlen, die die Nutzung dieser Flächen beschreiben. Im Grundsatz wird der Flächenverbrauch auf eine primäre Nutzung hin definiert (z.B. Parkierung, ÖV-Haltestelle) und in weitere Modi, welche die Fläche ebenfalls nutzen können, aufgeteilt. Als Schlüssel zur Verteilung der Fläche dient die Zeit, in welcher die Fläche den jeweiligen Nutzungen zur Verfügung steht. Des Weiteren wird ein Nutzbarkeitsfaktor verwendet, mit welchem die theoretisch freie Zeit aufgrund der lokalen Gegebenheiten oder des Verkehrsverhaltens reduziert werden kann (z.B. falls Parkfelder in einer gewissen Zeit für andere Zwecke reserviert sind).

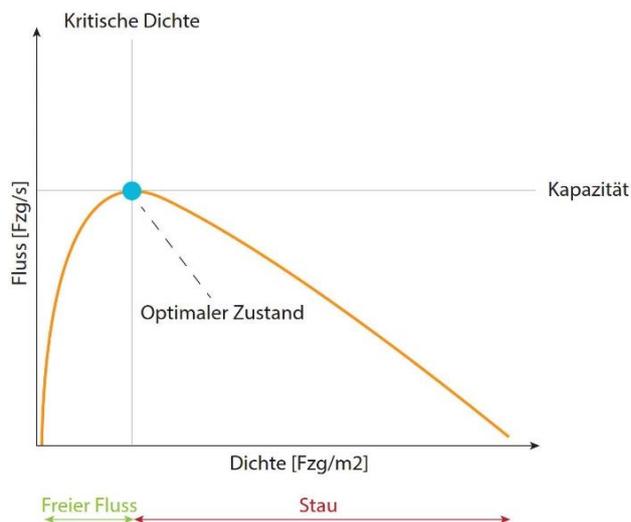
Als nächstes wird in **Schritt 3** die Fläche für den fließenden Verkehr den diversen Modi alloziert. Dafür werden die Flächen für den fließenden Verkehr inklusive Restflächen<sup>1</sup> als Input benötigt. Die Methodik unterscheidet sich je nach Verkehrsregime (Mischverkehr oder getrennte Verkehrsflächen). Die allozierte Fläche ist von der dynamischen Fläche des jeweiligen Modus abhängig. Sie wird aus den durchschnittlichen Fahrzeuggrundflächen, Sicherheits-/Bewegungszuschlägen und Geschwindigkeit sowie der Anzahl Fahrzeuge pro Modus berechnet. Die resultierende relative dynamische Fläche dient als Allokationsschlüssel des spezifischen Flächenverbrauchs pro Verkehrsmittel. Nachfolgend wird für

<sup>1</sup> Unter Restflächen werden spezielle Flächen neben der eigentlichen Fahrbahn verstanden, welche aber direkt dem Verkehr dienen (z.B. Leitplanken, Pannestreifen). Flächen, die anderen Zwecken dienen werden ausgeklammert (z.B. reine Aufenthaltsflächen wie Pärke oder Gastronomie-Flächen). Siehe dazu auch Systemabgrenzung in Kapitel 3.3.2.

Schritt 3 im Mischverkehr eine 4-stufige Methode aufgezeigt. Im Fall von getrennten Verkehrsflächen ist keine spezifische Allokation notwendig. Die Flächen werden direkt den jeweiligen Modi zugeordnet. Zur Logik, nach welchen Regeln die Flächen den einzelnen Verkehrsmitteln und Fortbewegungsarten zugeschlagen wird gibt es verschiedene Argumentationslinien. Der hier vorgestellte Ansatz geht von der effektiven Flächenbeanspruchung durch die unterschiedlichen Modi aus.

Schliesslich wird in **Schritt 4 (Modul 2)** für jeden untersuchten Modus der gesamte Flächenbedarf pro Person berechnet ( $\frac{\text{Fläche}}{\text{Person}}$ ). Dies erfolgt anhand der allozierten Flächen des fließenden Verkehrs sowie die gesamte Personendichte im untersuchten Raum. Die Personendichte wird berechnet aus dem Verkehrsfluss, dem betrachteten Zeitraum, der Geschwindigkeit, der Fahrstrecke im Perimeter und dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge.

Schritt 4 im Modul 2 wird **optional** (d.h. falls entsprechende Daten vorhanden sind) durch die Möglichkeiten des **MFD-Ansatzes** ergänzt. Der Ansatz arbeitet mit den Schlüsselgrößen Fluss [Fz/s], Dichte [Fz/m<sup>2</sup>] und Geschwindigkeit [m/s]. Seit einigen Jahren können so nicht nur einzelne Strecken, sondern zusammenhängende Netze erfasst werden. Auch ist es möglich, darin mehr als ein Modus zu kombinieren. Er stützt sich auf standardisierte Messungen im Strassenraum. Die Aufgabe ist zweifach: Erstens kann mittels MFD der Input «Flächenallokation fließender Verkehr» gemäss Schritt 3 plausibilisiert und verfeinert werden. Das funktioniert, indem mit dem fundamentalen Zusammenhang zwischen gemessenem Fluss und Geschwindigkeit die Dichte der Fahrzeuge bestimmt wird. Mit diesen Grössen lassen sich die erforderlichen Inputgrößen bis auf die Querabstände herleiten. Das Fundamentaldiagramm stellt so innerhalb der vorgestellten Methode den Bezug zum tatsächlichen Verkehrsgeschehen und somit realen Verkehrsdaten her. Die zweite Funktion ist die Identifikation der Differenz zwischen tatsächlichem Flächenverbrauch und theoretisch optimalem Flächenverbrauch. Das MFD verfügt nämlich über ein Optimum (Abb. 12). Das ist der Punkt, in dem maximal viele Fahrzeuge (Personen) pro Zeit einen Querschnitt passieren können. In einem multimodalen MFD zeigt dieser Zustand auch die optimale Aufteilung der Personen durch den Querschnitt pro Verkehrsmittel an. Dieser optimale Punkt ergibt sich aus einer Reihe von Messpunkten zu verschiedenen Verkehrsregimen.



**Abb. 12** Zusammenhang von Dichte und Verkehrsfluss (eigene Abbildung).

Für Schweizer Strassen liegen fast nie Messpunkte entlang der ganzen gelben Kurve in Abb. 12 vor, da in der Schweiz äusserst selten Strassen zugestaut sind. Es ist darum nötig, den kompletten Verlauf der Kurve basierend auf den vorliegenden Messpunkten (die in der Regel die linke Hälfte definieren) zu schätzen. Das MFD wird in der Literatur mit verschiedenen Funktionen angenähert bzw. geschätzt. In dieser Arbeit wird eine relativ einfache und zweckmässige Funktion gewählt gemäss den Erkenntnissen von Yang et al., 2017.

Die Parametrisierung der Kurve entspricht einem Polynom dritten Grades, wobei der Freiheitsgrad des Nullpunktes zwingend eingeschränkt wird. Die Regression entspricht einer Lösung für kleinste Quadrate. In den Fallbeispielen in Basel kommt diese Schätzung zum Einsatz. Die konkreten Werte der Parameter orientieren sich an der Forschung; und zwar wie folgt: Die maximale Verkehrsdichte im MFD (rund 60 Fz/km) ist deutlich geringer als jene einer einzelnen Strasse (rund 130 Fz/km), da es sich um ein Mittel über ein ganzes Gebiet handelt. Das heisst, dieses beinhaltet selbst bei hohem Stau (sogenannten Gridlocks) auch Strassen, die ein tieferes Stauaufkommen messen (Tilg et al., 2021).

### 3.3.2 Systemgrenzen, Abgrenzung von Flächen

Der Strassenraum, insbesondere innerhalb des Siedlungsgebiets, stellt eine komplexe räumliche Situation dar. Der Raum ist in zahlreiche Flächen mit unterschiedlichen Nutzungen aufgeteilt. Da neben den Verkehrsflächen auch weitere Flächen ohne verkehrliche Nutzung vorhanden sind, muss eine pragmatische Abgrenzung zwischen relevanten und nicht relevanten Flächen für den Verkehr vorgenommen werden. Dies auch mit Blick auf die Anwendbarkeit in der Planungspraxis.

Das vorliegende Modell ist darauf ausgelegt, den spezifischen Flächenverbrauch von unterschiedlichen Modi zu beurteilen. Dabei sind für die Berechnung nur jene Flächen relevant, welche von einem am Verkehrsgeschehen teilnehmenden Modus genutzt werden, oder aufgrund des Verkehrs nicht von anderen Nutzungen belegt werden können. Typische Flächen, welche nach dieser Definition nicht berücksichtigt, resp. als ausserhalb der Systemgrenze betrachtet werden, sind z.B. reine Aufenthaltsflächen, Grünflächen, Bäume und Brunnen. Der Nutzen solcher Flächen ist sehr vielfältig (z.B. Klima, Stadtbild) und sie kommen der Allgemeinheit zugute. Die Tab. 2 zeigt Beispiele von speziellen Flächen und deren Zuweisung:

**Tab. 2** Beispiele für die Zuweisung von einigen speziellen Flächen

Spezielle Flächen	Zuweisung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sperrflächen</li> <li>• Abweisinseln</li> <li>• Kreiselmitte ohne Nutzung</li> <li>• Leitplanke</li> </ul>	Alle Modi, welche die entsprechende Fahrbahn benützen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fussgängerschutzinsel</li> <li>• Mehrzweckstreifen</li> <li>• Flächen für Sicherungsinfrastruktur</li> </ul>	Alle Modi, welche die entsprechende Strasse benützen + Fussverkehr
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flächen für Verkehrssicherung (z.B. Signalposten, Schilder)</li> </ul>	Alle Modi, welche die entsprechende Strasse benützen + Fussverkehr
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flächen für Fahrleitungsinfrastruktur</li> </ul>	ÖV
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wartebereiche an ÖV-Haltestellen</li> </ul>	ÖV (ruhender Verkehr)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreiselmitte mit Nutzung als Aufenthaltsfläche</li> </ul>	keine Zuweisung / ausserhalb Perimeter
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelbaum</li> <li>• Alleebäume</li> <li>• Brunnen</li> <li>• Sitzbänke</li> <li>• Info-/Werbetafeln</li> <li>• Kiesfläche für Aufenthalt</li> <li>• Grünfläche</li> </ul>	keine Zuweisung / ausserhalb Perimeter
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterhalt von privaten Fahrzeugen (Garagen, u.a.)</li> <li>• Privater Parkraum an Wohnstandorten</li> <li>• Unterhalt von öffentlichen Fahrzeugen (Depots öV-Unternehmen, Werkstätten, Werkhöfe öffentlicher Dienste, u.a.)</li> </ul>	keine Zuweisung / ausserhalb Perimeter (siehe auch Hinweise zu solch 'Ohne-hin'-Flächen in Kapitel 5.1)

Die Methodik ermöglicht die Beurteilung sämtlicher Mischverkehrssituationen unabhängig des Geschwindigkeitsregimes. Auch in Begegnungs- und Tempo-30-Zonen kann der spezifische Flächenbedarf pro Person berechnet werden. Eine Schwierigkeit zeigt sich bei sehr diffusen Verkehrsströmen, da bei der Flächenallokation nur die Geschwindigkeit, und nicht die effektive Belegungsdauer berücksichtigt wird. Beim Fussverkehr können häufig diffuse Verkehrsströme beobachtet werden. Hier wird aber die Annahme getroffen, dass diese vor allem auf Aufenthaltsflächen vorkommen und somit durch den Ausschluss dieser Flächen ohnehin nicht in die Berechnung einfließen.

Die Beurteilung der Flächeneffizienz des ruhenden Verkehrs allein ist nicht Teil der Methode. Diese Flächen (z.B. MIV-Parkfelder, Bushaltestellen, Veloabstellanlagen usw.) werden in der Flächenallokation zwar (optional) berücksichtigt, es wird jedoch kein spezifischer Flächenbedarf pro Person nur für den ruhenden berechnet. Der Vorteil der einzelnen Betrachtung von ruhendem und fliessendem Verkehr liegt darin, dass das Resultat differenziert ausgewiesen werden kann (siehe Fallbeispiele Feldbergstrasse und Frick in Kapitel 4) und weniger abhängig vom gewählten Perimeter ist.

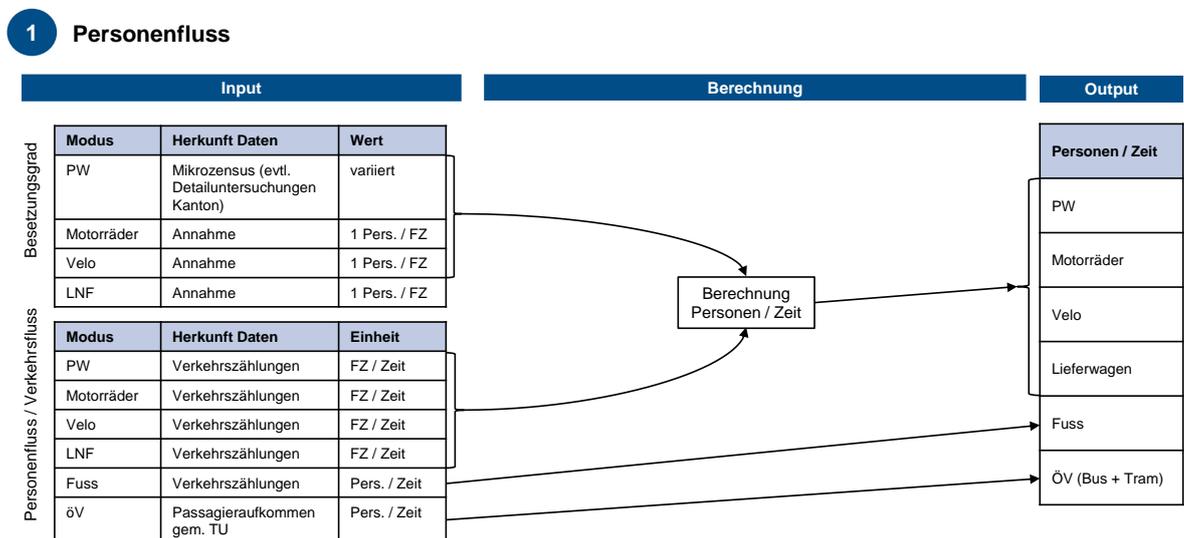
Eine methodische Grenze zeigt sich im Bereich von Knoten. Aufgrund der zahlreichen Teilflächen mit unterschiedlich gerichteten Verkehrsströmen verschiedener Modi wäre eine Berechnung mit der vorliegenden Methode sehr komplex und zeitaufwendig. Der Fokus liegt somit klar auf der Beurteilung von Strecken und nicht von Knoten. Hier kommt ein weiterer Vorteil der MFD zum Vorschein: Knoten sind häufig kapazitätsbestimmend und beeinflussen die durchschnittlichen Geschwindigkeiten in einem gewählten Perimeter. Bei MFD sind diese Einflüsse von Knoten besser abgebildet, als bei Daten auf einem bestimmten Streckenquerschnitt (mit mehr oder weniger grösserer Distanz zum nächsten Knoten).

Weitere, übergeordnete Abgrenzungen der vorliegenden Forschungsarbeit sind bereits weiter oben in Kapitel 1.2 beschrieben.

## 3.4 Operationalisierung

### 3.4.1 Modul 1 Flächenallokation

Die Herleitung des Personenflusses (**Schritt 1**) ist in *Abb. 13* graphisch dargestellt<sup>2</sup>. Der Verkehrsfluss (Fahrzeuge pro Zeit) aus Verkehrszählungen wird für die Verkehrsmittel Velo, Motorrad, PW und LNF mit den jeweiligen Besetzungsgraden multipliziert. Der schwere Güterverkehr (SNF) wird ausgeklammert, da für den Verkehrsträgervergleich im Personenverkehr nicht relevant ist. Lieferwagen (LNF) hingegen können Wirtschafts- oder Personenverkehr sein und werden darum berücksichtigt. Zudem wächst der Lieferwagenverkehr überdurchschnittlich und ist somit für die spezifische Flächenallokation im städtischen Raum zu berücksichtigen. Der Besetzungsgrad stammt aus der Literatur (insb. MZMV) oder es werden plausible, auf den betrachteten Raum abgestimmte Werte geschätzt. Beim Fussverkehr entspricht der Verkehrsfluss dem Personenfluss und es ist keine weitere Berechnung erforderlich. Für den öffentlichen Verkehr können i.d.R. die effektiven Nachfragezahlen verwendet werden (z.B. Ermittlung aus Belastungsteppichen der Transportunternehmen). Alternativ ist auch eine Berechnung über die Anzahl Kurse, Fahrzeugkapazität und eine mittlere Auslastung gemäss Statistiken möglich. Als Output werden Personen pro Zeit je Modus hergeleitet.



**Abb. 13** Berechnung des Personenflusses.

*Abb. 14* beschreibt die Berechnungsschritte für die Allokation der Fläche, anhand der Nutzungsdauer (**Schritt 2**). Dieser Schritt wird bei den folgenden Flächen angewendet:

- **Ruhender Verkehr**
  - Parkplätze für MIV → Primäre Nutzung MIV
  - Veloparkierungsanlagen → Primäre Nutzung Velo
  - Haltebereiche ÖV-Haltestellen (Busbuchten, Fahrbahn- und Kaphaltestellen) → Primäre Nutzung ÖV
  - Wartebereiche ÖV-Haltestellen → Primäre Nutzung ÖV
- **Fussgängerstreifen** → Primäre Nutzung Fussverkehr

Für jede dieser Flächen wird eine primäre und eine sekundäre Nutzung bestimmt. Als primär gilt die Nutzung, welche die Fläche über einen bestimmten Zeitraum blockieren kann,

<sup>2</sup> Ein Auszug aus dem Excel-basierten Tischmodell zur Operationalisierung ist im Anhang II ersichtlich.

sodass keine sekundäre Nutzung möglich ist, z.B. Fussgänger auf Fussgängerstreifen (primäre Nutzung) verhindert, dass der MIV (sekundäre Nutzung) den Fussgängerstreifen befährt, oder ein parkierter Personenwagen auf einem Parkfeld (primäre Nutzung) verhindert, dass diese Fläche vom fließenden Fussverkehr (sekundäre Nutzung) begangen wird. Die primäre Nutzung erfolgt i.d.R. durch einen einzelnen Modus, sodass diese Fläche diesem Modus zugewiesen werden kann. Die sekundäre Nutzung geschieht oft durch mehrere Modi, sodass diese Fläche weiter alloziert werden muss. Dafür wird die Methodik für den fließenden Verkehr angewendet.

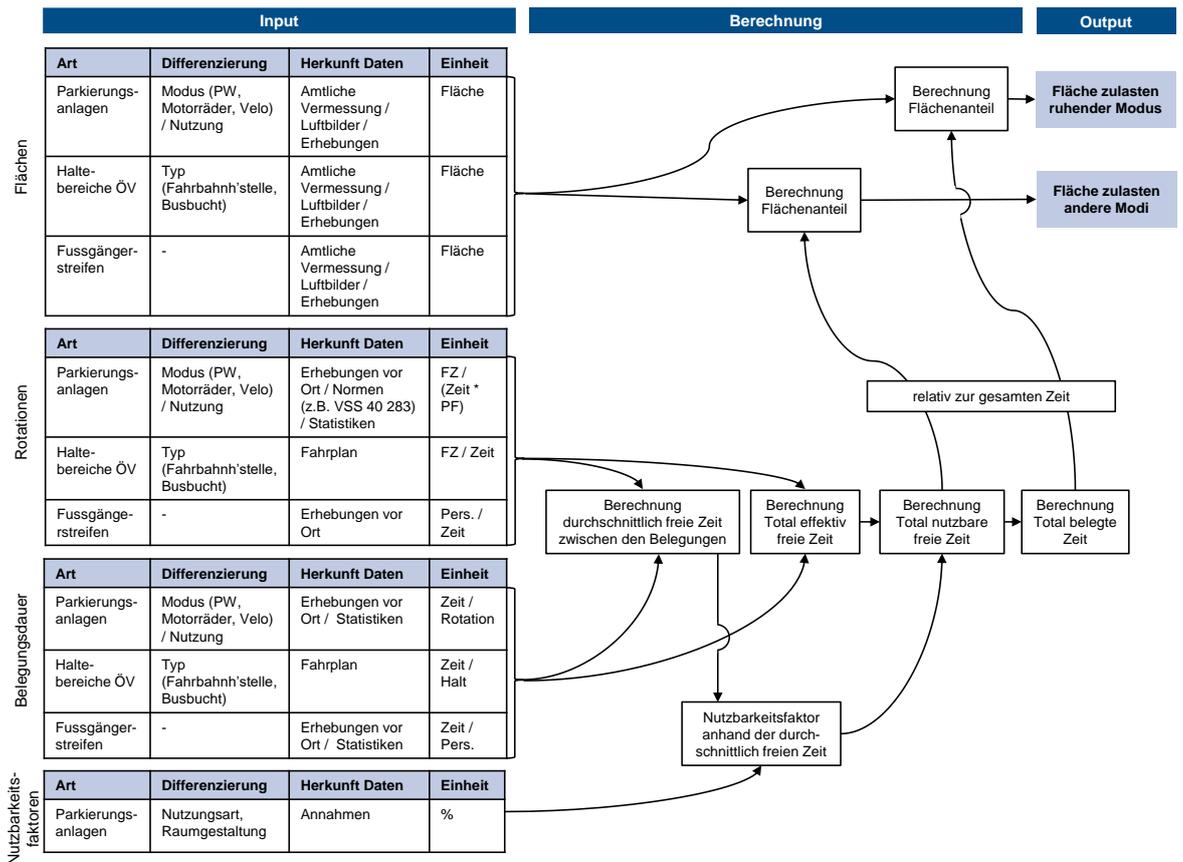
In der Praxis kann je nach lokalen Gegebenheiten (durchschnittlich freie Zeit, Signalisierung, Gestaltung) nicht die gesamte Zeit, welche theoretisch der sekundären Nutzung zur Verfügung steht, auch effektiv genutzt werden. Dies wird mit dem Nutzbarkeitsfaktor abgebildet, welcher angibt, welcher Teil der theoretisch verfügbaren Zeit durch die sekundäre Nutzung effektiv verwendet werden kann. Das heisst, ein Nutzbarkeitsfaktor von «0» gibt an, dass auch bei Nichtbelegung durch die primäre Nutzung, keine andere Nutzung stattfindet und somit die gesamte Fläche der primären Nutzung zugewiesen wird. Andersherum kann mit einem Nutzbarkeitsfaktor von «1» die gesamte freie Zeit genutzt werden.

Die Wartebereiche an ÖV-Haltestellen werden ebenfalls als Flächen des ruhenden Verkehrs betrachtet, wobei die Fläche nicht dem Fussverkehr, sondern dem öffentlichen Verkehr zugewiesen wird. Als Wartebereiche gelten in diesem Modell jene Flächen, welche ausschliesslich von wartenden Personen genutzt werden und für die Abwicklung des Fussverkehrs irrelevant sind. Dementsprechend kann auch der Nutzungsfaktor für die sekundäre Nutzung «0» verwendet werden. Steht bei ÖV-Haltestellen keine zusätzliche Wartefläche zur Verfügung, d.h. die Fahrgäste warten auf dem Trottoir, wird keine Fläche dem öffentlichen Verkehr zugewiesen und das gesamte Trottoir gilt als Fläche für den fließenden Fussverkehr.

Bei Fussgängerstreifen ist die primäre Nutzung der querende Fussverkehr. Als Belegungszeit wird die Summe der Querungszeiten aller FussgängerInnen verwendet. Die restliche Zeit steht dem motorisierten Verkehr (oder ÖV und Veloverkehr) zur Verfügung. Da die Fussgängerstreifenfläche vom MIV genutzt werden kann, sobald sich keine Personen mehr darauf befinden, ist hier von einem Nutzbarkeitsfaktor von «1» auszugehen.

Die gleiche Situation zeigt sich auch bei Fahrbahnhaltestellen. Die Haltestellenfläche kann ohne Einschränkungen durch den MIV genutzt werden, wenn kein ÖV die Fläche belegt.

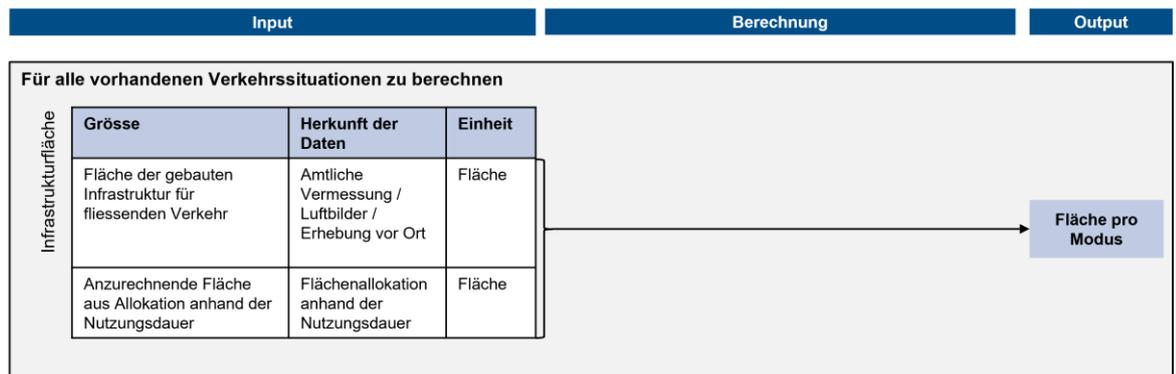
**2 Flächenallokation anhand der Nutzungsdauer**



**Abb. 14** Berechnungsschritte für die Flächenallokation anhand der Nutzungsdauer.

Im **Schritt 3** werden die Flächen des fließenden Verkehrs alloziert. Dabei unterscheidet sich das methodische Vorgehen zwischen getrennten Verkehrsflächen und Mischverkehr. Für getrennte Verkehrsflächen wird das Vorgehen gemäss *Abb. 15* angewendet. Dabei werden nur jene Flächen behandelt, welche einem einzelnen Modus zugewiesen werden können. Als Input dienen sowohl die Infrastrukturflächen des fließenden Verkehrs gemäss GIS-basierter Auswertung als auch die Flächen aus der nutzungsdauerabhängigen Flächenallokation, welche nicht dem ruhenden Verkehr zugewiesen wurden (siehe auch Schritt 2 «Flächenallokation anhand der Nutzungsdauer»).

### 3 Flächenallokation fließender Verkehr (Situation: getrennte Verkehrsflächen)



**Abb. 15** Flächenallokation des fließenden Verkehrs bei getrennten Verkehrsflächen. Der graue Kasten stellt eine Schleife dar (der dargestellte Berechnungsschritt soll für alle Verkehrssituationen<sup>3</sup> angewendet werden).

Die Abb. 16 zeigt die Methodik in Schritt 3 im Fall von Mischverkehrsflächen. Diese Flächenallokation muss für jede Verkehrssituation ausgeführt werden (eine Verkehrssituation entspricht einer Teilfläche des Perimeters mit einem bestimmten Verkehrsregime, d.h. Zugänglichkeit für die verschiedenen Verkehrsmittel). Für jeden Modus wird eine dynamische Gebrauchsfläche ermittelt. Für den Allokationsschlüssel werden diese Flächen in Relation zueinander gesetzt. Diese dynamische Gebrauchsfläche wird mittels folgender vier Schritte berechnet:

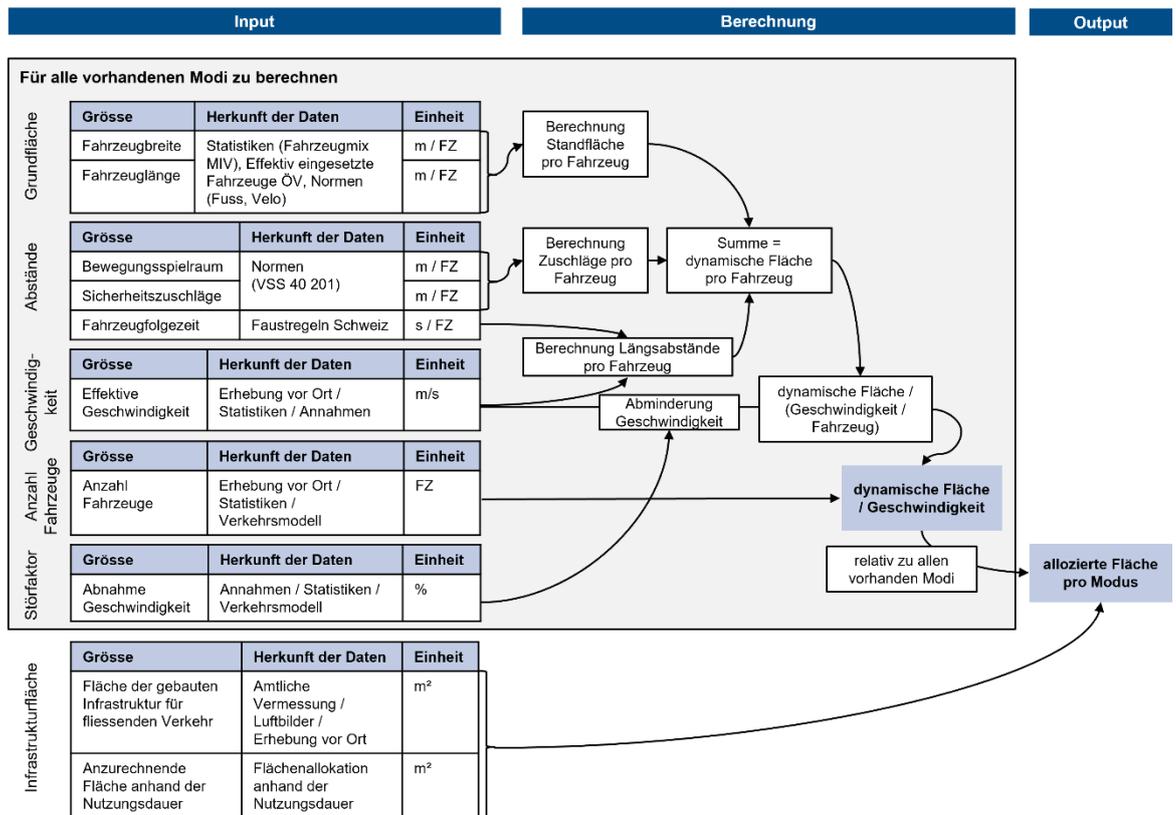
- **Grundfläche des Fahrzeugs:** Wird aus der Länge und Breite der Fahrzeuge berechnet. Je nach Differenzierung der Verkehrszählung können mehr oder weniger Modi unterschieden werden. Entsprechend dieser Differenzierung müssen auch die durchschnittlichen Fahrzeugflächen berechnet werden.
- **Abstände:** Berücksichtigt werden die seitlichen Sicherheitsabstände und der Bewegungsspielraum. Zusätzlich wird auch der theoretische minimale Längsabstand verwendet. Dieser wird aus dem theoretischen minimalen Zeitabstand zwischen den Fahrzeugen und der Fahrgeschwindigkeit berechnet. Je nach Situation können sich die Geschwindigkeiten der einzelnen Modi auch im Mischverkehr unterscheiden. Zudem sind die Zeitabstände der einzelnen Modi unterschiedlich. Da sowohl die seitlichen Abstände als auch die Längsabstände von der Geschwindigkeit abhängig sind, wird diese bereits bei diesem Schritt als Input benötigt. Hierzu wird möglichst von der effektiven Geschwindigkeit innerhalb der Situation ausgegangen. Alternativ können auch (modellierte) Durchschnittsgeschwindigkeiten verwendet werden.
- **Geschwindigkeit / Nutzungsdauer:** Die Flächenbeanspruchung durch ein Fahrzeug ist auch von der Nutzungsdauer einer Fläche abhängig. Hier wird zur Berücksichtigung der Dauer die Gebrauchsfläche (Grundfläche + Abstände) durch die Geschwindigkeit geteilt. Die Geschwindigkeit wird entweder direkt gemessen oder ergibt sich gemäss Fundamentaldiagramm aus bekannter Dichte und bekanntem Fluss. Als Input wird hier eine abgeminderte Geschwindigkeit verwendet. Die Abminderung erfolgt anhand eines Störfaktors, welcher angibt, wie stark der jeweilige Modus durch Rangier-, Park- oder Haltemanöver den Verkehrsfluss stört. Dieser Faktor ist grundsätzlich von der Anzahl Störungen abhängig, kann aber je nach lokaler Situation stark variieren. Als Vereinfachung wird dieser nur dem «Störer» zugeordnet, da die Auswirkungen der Störung auf die anderen Modi in den Messdaten zu Fluss und Geschwindigkeit abgebildet sind. Liegen keine fundierten Daten vor, von welchem Störfaktor auszugehen ist, sollte bei allen Modi der Faktor 1 (also keine Abminderung) verwendet werden.

<sup>3</sup> Der Begriff Verkehrssituation wird für alle unterschiedlich genutzten Flächen verwendet (z.B. Situation 1 = Fahrbahn genutzt durch Motorrad, PW, LNF und LKW, Situation 2 = Busspur genutzt durch Velo und Bus). Bei getrennten Verkehrsflächen gibt es pro Situation nur einen Modus.

- **Anzahl Fahrzeuge:** Die berechnete geschwindigkeitsabhängige Gebrauchsfläche bezieht sich auf ein einzelnes Fahrzeug. Da diese Fläche von jedem Fahrzeug beansprucht wird, welches die Situation befährt, wird sie mit der Anzahl Fahrzeuge des jeweiligen Modus multipliziert. Somit ergibt sich die Flächenbeanspruchung durch den gesamten Modus.

Mit dem so erzeugten Allokationsschlüssel kann die Fläche auf die verschiedenen Modi aufgeteilt werden. Diese Fläche besteht in erster Linie aus der Infrastrukturfläche der betrachteten Situation. Dazu kommen noch (gleich wie bei den getrennten Verkehrsflächen) Flächen aus der Nutzungsdauerabhängigen Flächenallokation, bei welcher diese Situation als sekundäre Nutzung angegeben ist. So werden die Flächen aus der Nutzungsdauerabhängigen Allokation, welche von drei oder mehr Modi genutzt werden, weiter alloziert.

**3 Flächenallokation fließender Verkehr (Situation: Mischverkehr)**



**Abb. 16** Flächenallokation des fließenden Verkehrs bei Mischverkehrsflächen. Der graue Kasten stellt eine Schleife dar (der dargestellte Berechnungsschritt soll für alle Modi angewendet werden).

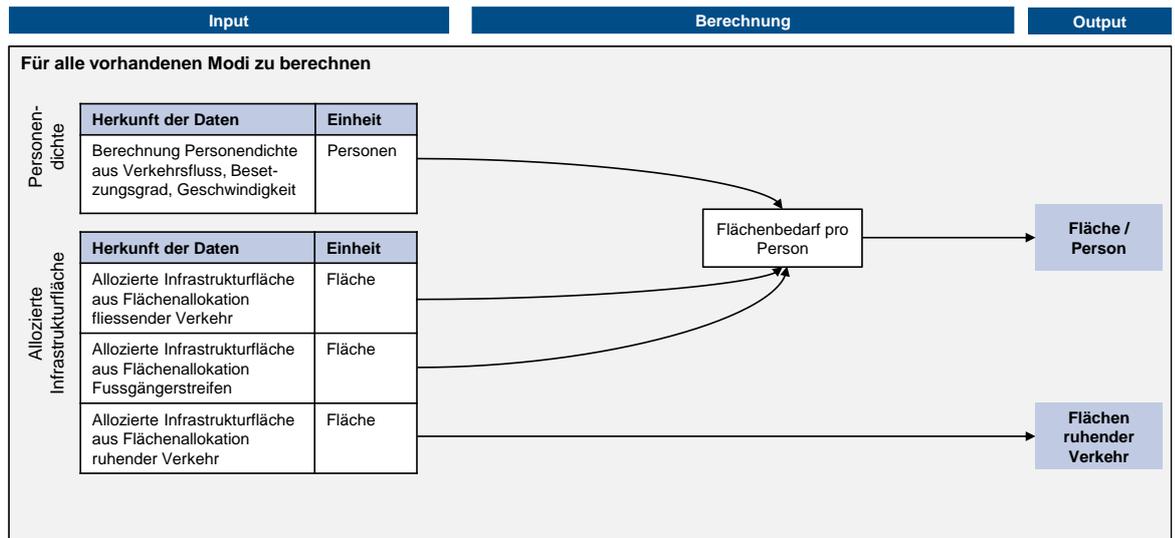
**3.4.2 Modul 2: Verhältnis Verkehr zu Fläche**

Im zweiten Modul wird mit dem **vierten Schritt** gemäss Methodenkonzept (3.3.1) zwischen der allozierten spezifischen Fläche aus den vorhergehenden Berechnungsschritten und der absoluten Verkehrs- und Personendichte ein Verhältnis gebildet. Dieses Verhältnis ist das resultierende Mass für den spezifischen Flächenverbrauch pro Person ( $m^2/Pers$ ).

Zur Ermittlung der Fahrzeug- und Personendichte wird als erstes der durchschnittliche Zeitabstand zwischen den Fahrzeugen in Sekunden berechnet. Dazu wird die Anzahl Fahrzeuge pro Modus, welche im betrachteten Zeitraum erfasst werden (Verkehrsfluss) und die Dauer der untersuchten Periode in Sekunden verwendet. Aus diesem Zeitabstand kann

mit Hilfe der gemessenen oder geschätzten Durchschnittsgeschwindigkeit pro Modus ein Abstand in Meter errechnet werden. Um nun die durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge zu ermitteln, welche sich gleichzeitig in einer Verkehrssituation (siehe Begriffserklärung bei den Berechnungsschritten 2 und 3) befinden, wird die effektive Fahrstrecke der Situation durch den Abstand geteilt. Bei Flächen, welche in die Flächenallokation einfließen, jedoch nicht von Verkehr belegt sind (z.B. Sperrflächen) beträgt die effektive Fahrstrecke 0 m. Das Verhältnis zwischen allozierter Fläche und dieser Anzahl Fahrzeuge ergibt den Flächenbedarf pro Fahrzeug. Mittels Besetzungsgrad wird daraus der spezifische Flächenbedarf pro Person berechnet.

#### 4 Berechnung Personenfluss pro Fläche



**Abb. 17** Berechnung Personenfluss aus allozierter Fläche und Personen pro Zeit (der dargestellte Berechnungsschritt soll für alle Modi angewendet werden).

Obwohl die Ausgabeinheit ( $\text{m}^2/\text{Pers.}$ ) eine statische Grösse ist, bleibt der Bezug zum Verkehrsfluss, und somit zu der Anzahl transportierter Personen bestehen. Grund dafür ist, dass die Fahrzeugdichte aus dem Verkehrsfluss und der Geschwindigkeit berechnet wird. Wichtig ist jeweils die Angabe, für welchen Zeitraum sich die unterstellten Verkehrsflussannahmen beziehen (z.B. durchschnittlicher Tagesverkehr oder Abend- oder Morgenspitzenstunde).

Fehlen die Angaben zu Geschwindigkeit und Verkehrsfluss oder ist der Aufwand zu gross, diese Daten zu erheben können stattdessen die folgenden Inputs verwendet werden:

- Abstände gemäss Fundamentaldiagramm: Es wird mit einem durchschnittlichen Abstand proportional zur vermuteten Geschwindigkeit gerechnet.
- Geschwindigkeit gemäss Fundamentaldiagramm: Es wird eine durchschnittliche Geschwindigkeit entsprechend der betrachteten Tagesganglinie genommen.

**Optional** kann der gesamte Schritt 4 mittels **Fundamentaldiagramm** bearbeitet werden. Das Fundamentaldiagramm stellt die Grössen Fahrzeugfluss [ $\text{Fz}/\text{s}$ ], Fahrzeugdichte [ $\text{Fz}/\text{m}^2$ ] und Fahrzeuggeschwindigkeit [ $\text{m}/\text{s}$ ] in ein Verhältnis. Dazu ist keine Information zum eigentlichen Netz nötig, sondern nur die detektierten Werte zu den drei genannten Grössen an den Messstellen. An der Methode von (Gonzales, 2011) orientierend, bestehen zwei mögliche Ansätze, um vom Fundamentaldiagramm auf den Flächenverbrauch zu schliessen:

- Es liegen die Angaben zu mindestens zwei der drei Grössen vor: Damit lassen sich zunächst die Werte zu Fluss und Dichte in jedem Fall ableiten. Die Länge der Fahrt kann zum Beispiel als die Länge des betrachteten Abschnitts betrachtet werden. Hierbei gilt die Annahme, dass der Abschnitt homogen gestaltet ist.

- Es liegt nur die Angaben zum Fluss vor: Die eine der verbleibenden Grössen muss geschätzt werden, womit die dritte abgeleitet werden kann.

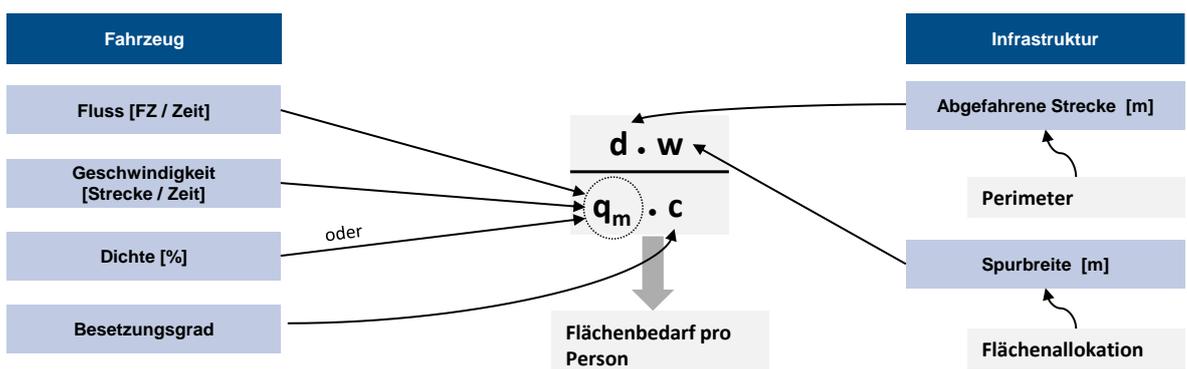
Im Zentrum steht die differenzierte Abbildung des Verkehrsflusses nach Tagesganglinie: Im ersten Fall ist es möglich, mit den optimalen Grössen, d.h. mit den Grössen bei maximaler Effizienz (möglichst viele Fahrzeuge über einen Querschnitt abwickeln) zu rechnen. Dafür ist jedoch eine Zählstelle nötig, bei der das gesamte Spektrum von freiem Fluss bis zu vollständigem Stau zu detektieren ist. Im zweiten Fall kann man sich in der Regel nur auf den (mittleren) Fluss abstützen. Die Interaktion im Mischverkehr kann auf drei Arten operationalisiert werden:

1. Die Interaktion ignorieren und die Flächenzuordnung vereinfacht vornehmen (zum Beispiel Anteil Verkehrsmittel am Gesamtfluss oder proportional zur Geschwindigkeit je Verkehrsmittel). Das Resultat ist damit eine idealisierte Flächenzuordnung (Behandlung der Mischfläche als wären Verkehrsmittel individuell unterwegs).
2. Das Modell kann multimodal ermittelt werden. Das heisst, statt zweidimensionaler Abhängigkeiten Fluss-Dichte (Messpunkte) ergeben sich dreidimensionale Abhängigkeiten Fluss-Dichte des Verkehrsmittels 1 x Fluss-Dichte des Verkehrsmittel 2 (Mess-Flächen). Die gegenseitige Beeinflussung ist damit in der Messung enthalten und abstrakt abgebildet (kein Rückschluss auf spezifische Flächen wie Velostreifen oder Fussgängerinseln möglich).
3. Die Fundamentaldiagramme werden je Verkehrsträger separat berechnet. In der Berechnung sind Korrekturfaktoren eingebaut, welche die vermutete Interaktion abbilden. Die Flächenzuordnung erfolgt separat je Verkehrsmittel und bildet die Interaktion ebenfalls abstrakt, je nach Güte der Korrekturfaktoren ab (kein Rückschluss auf spezifische Flächen wie Velostreifen oder Fussgängerinseln möglich).

Das heisst, die Operationalisierung basiert im Wesentlichen auf Einzelfahrzeugdaten:

- Exakter Zeitstempel der detektierten Fahrt (Fluss)
- Detektierte Geschwindigkeit und/oder Belegung der Zählstelle (Dichte)
- Mass der Spurbreite
- Länge der Fahrt und Besetzungsgrad des Fahrzeugs

Damit ist die Operationalisierung sehr nahe an der Realität des Verkehrsgeschehens, da sie die Varianz über eine Tagesganglinie automatisch abbildet und die ermittelten Werte direkt in Relation zur Kapazität stehen.



**Abb. 18** Berechnung der Grössen mit dem Fundamentaldiagramm-Ansatz; entweder mit dem realen Fluss oder mit dem berechneten maximalen Fluss am Optimum.

### 3.5 Benötigte Daten und Datengrundlagen

Für die Berechnung mit beschriebenem Modell werden die folgenden Inputdaten benötigt:

- Infrastrukturf lächen können in der Regel anhand der Daten der amtlichen Vermessung und von Luftbildern grösstenteils bestimmt und kategorisiert werden. Je nach Situation ist aber auch eine Kartierung der Flächen vor Ort nötig.
- Die Fahrzeugfl ächen können aus Statistiken zur Fahrzeugflotte (u.U. sogar spezifisch für das untersuchte Gebiet) entnommen werden. Die Sicherheitszuschläge und Bewegungsspielräume sind in Normen für die Projektierung des Strassenraums enthalten. Für den Längsabstand existiert in der Schweiz keine allgemeingültige Regel. Als Näherung, falls keine Beurteilung des Längsabstandes vor Ort vorgenommen wird, kann die Faustregel von  $1.8 s^4$  zwischen den Fahrzeugen des MIV angenommen werden. Mittels MFD kann mit Angaben zur Geschwindigkeit und zum Fluss die Verkehrsdichte ermittelt werden; sie ist der Kehrwert der Längsabstände.
- Das Verkehrsaufkommen wird je nach Modus unterschiedlich ermittelt. Die wichtigste Datenherkunft sind Verkehrszählungen von MIV, Fuss- und Veloverkehr. Ideal sind Einzelfahrzeugdaten.
- Die Verkehrsdichte wird in der Regel an Dauerzählstellen erhoben (Belegung der Induktionsschleufe mit Fahrzeugen).
- Die Geschwindigkeit wird in der Regel an Dauerzählstellen sowie temporären Messungen (z. B. der Polizei bei Erfolgskontrollen) erhoben.
- Für den öffentlichen Verkehr sind i.d.R. genauere Daten in Form von Belastungsteppichen vorhanden (Liste der einzelnen Kurse), woraus die genaue Anzahl Fahrzeuge für den betrachteten Zeitraum ausgezählt werden kann.
- Der Personenfluss kann beim öffentlichen Verkehr ebenfalls den Zählenden entnommen werden (Nachfrage pro Kurs für jeden Abschnitt). Falls diese Daten nicht vorliegen, ist auch eine Berechnung mittels Anzahl Fahrzeuge und mittlerem Besetzungsgrad möglich. Auch diese Daten können i.d.R. bei den Transportunternehmen bezogen werden. Beim MIV ist die zentrale Berechnungsgrösse der Besetzungsgrad. Dieser Wert muss aus vorhandenen Statistiken entnommen werden. Im Allgemeinen können hierzu durchschnittliche Werte aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) verwendet werden.

Die praktische Anwendung der verschiedenen Ansätze verlangt die Verwendung von zahlreichen Daten als Inputparameter. Es bestehen grundsätzlich drei Quellentypen für die benötigten Daten zur Berechnung des personenspezifischen Flächenverbrauchs:

- Vorliegende Daten: zu Verkehrsbelastungen, Flächen usw.
- Erhebung: Erfassung von Daten mit Messungen für detaillierte Differenzierungen im Raum
- Modellstufe: generierte Daten aus Verkehrsmodellen

Nicht alle Datentypen liegen in gleicher Qualität und Granularität vor. Die Datenlage und die Praktikabilität ist jeweils für den anzuwendenden Ansatz zu vertiefen: u.a. Reale vs. modellierte Daten, Etablierte Datenquellen vs. Datenlücken, Betrachtung des Raumes. Eine ausführliche Auslegeordnung der Datengrundlagen befindet sich im Anhang II.

<sup>4</sup> Beratungsstelle für Unfallverhütung BFU, „Reaktionszeit und Sicherheitsabstand im Strassenverkehr“, <https://www.bfu.ch/de/services/rechtsfragen/reaktionszeit-sicherheitsabstand-verkehr>

### 3.6 Methodische Vereinfachungen

Für das **Modul 1** der spezifischen Flächenallokation, das aus den Schritten 1-3 besteht, sind grundsätzlich verschiedene Vereinfachungen möglich, da die vorhergehend beschriebene Methodik je nach gewähltem Raum und Datenverfügbarkeit aufwändig sein kann:

- Statt einer exakten Flächenallokation gemäss aufbereiteten GIS-Grundlagen wird der dominante Querschnitt im Perimeter bestimmt und diese Aufteilung wird mit der Länge des Perimeters multipliziert, um die Flächen zu erhalten. Dies funktioniert insbesondere bei getrennten Flächen.
- Statt einem exakten Verteilungsschlüssel der Mischverkehrsflächen (über mehrere Schritte) wird mit Durchschnittsangaben gearbeitet und die relativen Anteile so bestimmt. Solche Durchschnittsangaben, bspw. aus Modal Split Angaben gemäss Mikrozensus für unterschiedliche Raumtypen, repräsentieren eine bestimmte Verkehrssituation aber nur sehr rudimentär.
- Innerhalb der Berechnungsschritte 1-3 zur Flächenallokation kann insbesondere auf einzelne Stör- und Nutzbarkeitsfaktoren verzichtet werden oder pauschale Annahmen gemacht werden. Zu diesen liegen i.d.R. keine empirischen Daten vor und müssen oft geschätzt werden (wie in den vorliegenden Fallbeispielen).
- Statt einer differenzierten Aufteilung von Flächen des fliessenden und ruhenden Verkehrs kann man die Systemgrenze eingrenzen und sich auf Flächen des fliessenden Verkehrs beschränken. Dadurch fallen auch die Zusammenhänge zwischen den zwei Zuständen weg. Die Berücksichtigung des ruhenden Verkehrs (und deren Zusammenhang mit dem fliessenden Verkehr) ist vor allem für Vergleiche von Verkehrssituationen innerhalb eines bestimmten Gebietes interessant (Quartier, Gemeinde, o.a.). Für den Vergleich von typischen Verkehrssituationen in unterschiedlichen Räumen sind die Resultate kaum mehr vergleichbar, weil die Situationen des ruhenden Verkehrs sehr ortsspezifisch sind.

Im **Modul 2** kann bei Vorhandensein von MFD-Daten auf eine Aufbereitung von Zähl- und deren (je nach Standort) teilweise nicht repräsentative Wiedergabe von Durchschnittsbelastungen im definierten Perimeter verzichtet werden. Die Nutzung von MFD-Daten erfordert aber ebenfalls einen gewissen Aufbereitungsaufwand. Ansonsten sind in Modul 2 (im Vergleich zum Modul 1) kaum Vereinfachungen möglich. Für die letztlich interessierenden Flächenverbräuche sind Daten zur Menge des Verkehrs nach Verkehrsmitteln unabdingbar. Es kann (bei fehlenden Zähl- oder MFD-Daten) einzig der allfällige Erhebungsaufwand reduziert werden (z.B. unter Zuhilfenahme von Verkehrsmodellen oder nur kurzen, nicht zwingend repräsentativen eigenen Zählungen).



## 4 Fallbeispiele

### 4.1 Einleitung

Die im vorangehenden Kapitel entwickelte Methodik wird auf vier Fallbeispiele angewendet, ausgewertet und interpretiert. Die in Absprache mit der Begleitkommission ausgewählten Fallbeispiele untersuchen Standorte mit verschiedenen Verkehrssituationen (getrennter Verkehr vs. Mischverkehr) und unterscheiden sich durch Raumtyp (Grossstadt, ländliches Zentrum, Autobahnabschnitt) sowie Umfang des Betrachtungsraums. Der räumliche Perimeter wird so gewählt, dass eine repräsentative Komplexität berücksichtigt werden kann (z.B. unterschiedliche Verkehrsregime). Ein weiteres Kriterium ist die Verfügbarkeit der Grundlagedaten. Für eine gute Nachvollziehbarkeit und eine einfache Plausibilisierung der Werte werden die Perimeter nicht zu klein gewählt, umfassen aber auch nicht ganze Gemeinden oder Stadteile. Die folgenden Fallbeispiele werden untersucht:

- Basel-Stadt: Feldbergstrasse (Johanniterbrücke bis Erasmusplatz)
- Basel-Stadt: Wettsteinbrücke (bis Theodorskirchplatz)
- Frick: Hauptstrasse (Höhe Hausummer 48-50)
- Münsingen: Autobahn A6 (Raststätte Münsingen bis Ausfahrt Kiesen)

### 4.2 Fallbeispiel Mischverkehr: Basel Feldbergstrasse

#### 4.2.1 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum umfasst den gesamten öffentlichen Strassenraum der Feldbergstrasse im Abschnitt Johanniterbrücke bis Erasmusplatz. Die mögliche Abschnittslänge wird durch die verfügbaren Verkehrszählungen begrenzt. Die Zählstellen befinden sich an der Feldbergstrasse 1 (Fussverkehr) respektive der Feldbergstrasse 7 (Veloverkehr und MIV). Somit liegen nur für den gewählten Abschnitt zuverlässige Daten zum Verkehrsaufkommen vor. Zusätzlich sind keine Zählungen der Fussgängerquerungen verfügbar, weshalb die Fussgängerstreifen nicht mitbeurteilt werden können.

Im untersuchten Perimeter sind verschiedene Verkehrsregime anzutreffen. In Richtung Grossbasel werden ÖV und MIV auf einer gemeinsamen Spur geführt. Für den Veloverkehr ist ein Velostreifen auf Fahrbahnniveau markiert. In der Gegenrichtung werden Linienbusse und Velos auf einer gemeinsamen Spur geführt. Für den MIV ist eine separate Spur vorhanden. Auf beiden Strassenseiten befindet sich ein Trottoir für den Fussverkehr. Zusätzlich sind auf der nördlichen Strassenseite Längsparkierungen und Veloabstellflächen angeordnet. Zwischen den Parkfeldern stehen Einzelbäume. Im Bereich der Einmündung auf den Erasmusplatz teilen sich MIV, ÖV und Veloverkehr in beiden Richtungen eine gemeinsame Verkehrsfläche.

Gemäss Strassennetzhierarchie der Stadt Basel ist die Feldbergstrasse eine Hauptverkehrsstrasse (HVS). Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Auf der Feldbergstrasse verkehrt die Buslinie 30 im 7.5-Minuten-Takt. Aufgrund von Verdichtungskursen während den Hauptverkehrszeiten sind es bis zu 10 (Abend) respektive 16 (Morgen) Fahrten pro Stunde und Richtung.



**Abb. 19** Perimeter Fallbeispiel Feldbergstrasse. Hintergrund: SWISSIMAGE. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.

## 4.2.2 Datenverfügbarkeit und Erhebung

Ein zentraler Input für die Auswertung sind die Geometriedaten des öffentlichen Raums. Für dieses Fallbeispiel konnte ein erweiterter Datensatz der amtlichen Vermessung der Stadt Basel verwendet werden, in welchem die Nutzung der einzelnen Verkehrsflächen abgebildet ist. Die Situationslängen/Fahrstrecken der einzelnen Situationen konnten ebenfalls aus den AV- und Luftbild-Daten ermittelt werden.

Für die Abbildung des Verkehrsflusses liegen in Basel detaillierte Zählraten des Kantons als Open Government Data (OGD) vor. Die hier verwendeten Zählstellen befinden sich auf der Feldbergstrasse etwa in der Mitte des betrachteten Abschnitts. In den Zählraten sind die folgenden Verkehrsmittel/Fahrzeugkategorien unterschieden:

- Personenwagen (mit und ohne Anhänger);
- Lieferwagen (mit und ohne Anhänger);
- Lastwagen (mit und ohne Anhänger sowie Sattelzüge);
- Motorräder;
- Velos;
- Fussverkehr;
- Busse.

Aus diesen Daten erfolgte auch die Berechnung des Personenflusses für MIV, Fuss- und Veloverkehr. Für den ÖV wurden nicht die Daten aus den Verkehrszählungen verwendet, sondern die detaillierten Nachfrage- und Angebotsdaten der BVB beschafft (Basler Verkehrsbetriebe). Somit wurde mit dem effektiven Personenfluss gerechnet und nicht mit einer durchschnittlichen Auslastung.

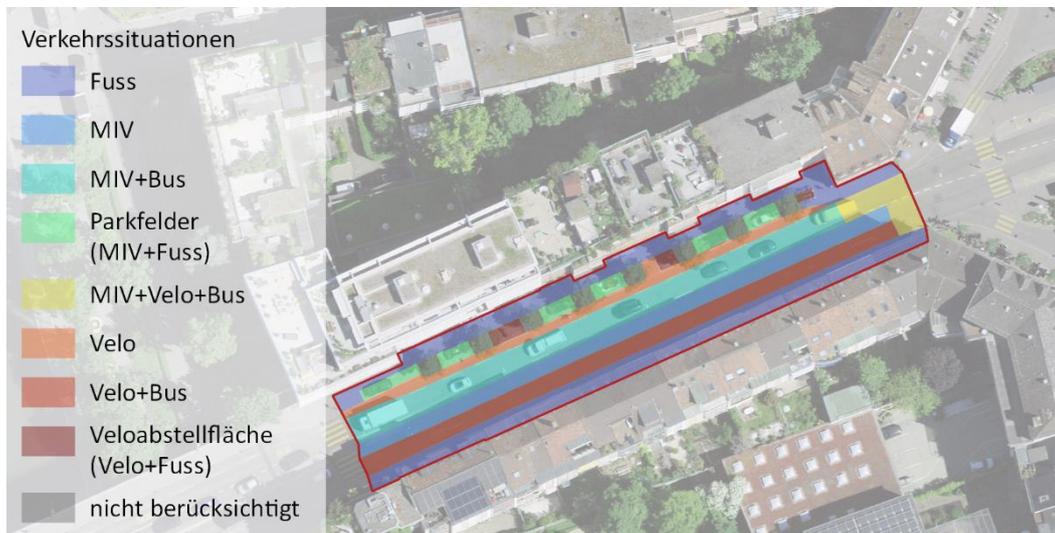
Sowohl die Zählraten zum Verkehrsfluss wie auch die Angebots- und Nachfragezahlen der BVB lassen eine beliebige Wahl der betrachteten Verkehrszeit (DWV, MSP, ASP) zu, wobei der DWV der BVB nur die Tage Montag bis Donnerstag berücksichtigt. In diesem Beispiel wird der spezifische Flächenverbrauch während den Werktagen (DWV Mo-Do) und während der Abendspitze (ASP 17:00-18:00 Uhr) berechnet. Um den Aufwand zu verringern, wurden von der BVB nur die Zahlen des ersten Quartals bestellt, weshalb auch die anderen Daten auf diesen Zeitraum beschränkt wurden. Die Auswertung erfolgt für das Jahr 2022, da nur aktuelle räumliche Daten des Strassenraums verfügbar sind und die Einflüsse der COVID-19-Pandemie in diesem Jahr bereits weniger stark im Verkehrsverhalten erkennbar sind als in den vorherigen Jahren.

Weitere wichtige Einflussgrößen sind die Grundflächen der Fahrzeuge. Hierzu wurden die mittleren Fahrzeuglängen und -breiten aus dem VSS-Forschungsprojekt zur Geometrie des Fahrzeugparks der Schweiz<sup>5</sup> verwendet. Für den ÖV waren die Größen der effektiv eingesetzten Fahrzeuge bekannt. Die seitlichen Sicherheitsabstände und der Bewegungsspielraum wurden der VSS-Norm zu den Normalprofilen<sup>6</sup> entnommen. Da für Motorräder keine normierten Werte vorhanden sind, wurden die Abstände der Personenwagen angewendet. Beim Fussverkehr werden keine seitlichen Abstände und keine Längsabstände berücksichtigt. Für die Längsabstände des motorisierten Verkehrs wird die Faustformel von 1.8 s verwendet.

Für die Geschwindigkeiten stand für dieses Fallbeispiel der OGD-Datensatz des Geschwindigkeitsmonitorings der Kantonspolizei Basel-Stadt zur Verfügung. Für die Fussverkehrsgeschwindigkeit wurde der Mittelwert aus der Literaturlauswertung zur Transporttechnik der Fussgänger<sup>7</sup> verwendet. Für den Veloverkehr musste eine Annahme getroffen werden.

Die Fläche des ruhenden Verkehrs wurde ebenfalls dem erweiterten AV-Datensatz entnommen. Für die Rotationen und die Belegungsdauer waren aber keine Daten der Feldbergstrasse vorhanden. Hierzu wurde auf eine Auswertung der Stadt Zürich<sup>8</sup>, bei welcher Parkdauer und Rotationen der Parkfelder mit verschiedenen Parkzeitbeschränkungen erhoben wurden, zurückgegriffen. Bei den Veloabstellanlagen musste eine Annahme getroffen werden. Da es sich um kleine Flächen handelt, wurden nicht einzelne Veloparkfelder betrachtet und es konnte davon ausgegangen werden, dass sich immer ein Fahrzeug auf dieser Fläche befindet. Weil der Störfaktor durch Fahrzeugwechsel in diesem Fallbeispiel nicht angewendet wird, wurde als Vereinfachung die Belegungsdauer durch Velo auf 100% gesetzt, wodurch die gesamte Fläche dem Veloverkehr zugeordnet wird.

Die *Abb. 20* zeigt die Flächenzuweisung – also die in der Berechnung unterschiedenen Verkehrssituationen.



**Abb. 20** Flächenzuordnung Fallbeispiel Feldbergstrasse. Hintergrund: SWISSIMAGE. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.

<sup>5</sup> Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „Geometrie des Fahrzeugparks der Schweiz“, Forschungsprojekt VSS 2011/203

<sup>6</sup> Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1992), „Geometrisches Normalprofil - Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer“, VSS 40201.

<sup>7</sup> Weidmann, Ulrich (1993), „Transporttechnik der Fussgänger - Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturlauswertung)“, Zürich

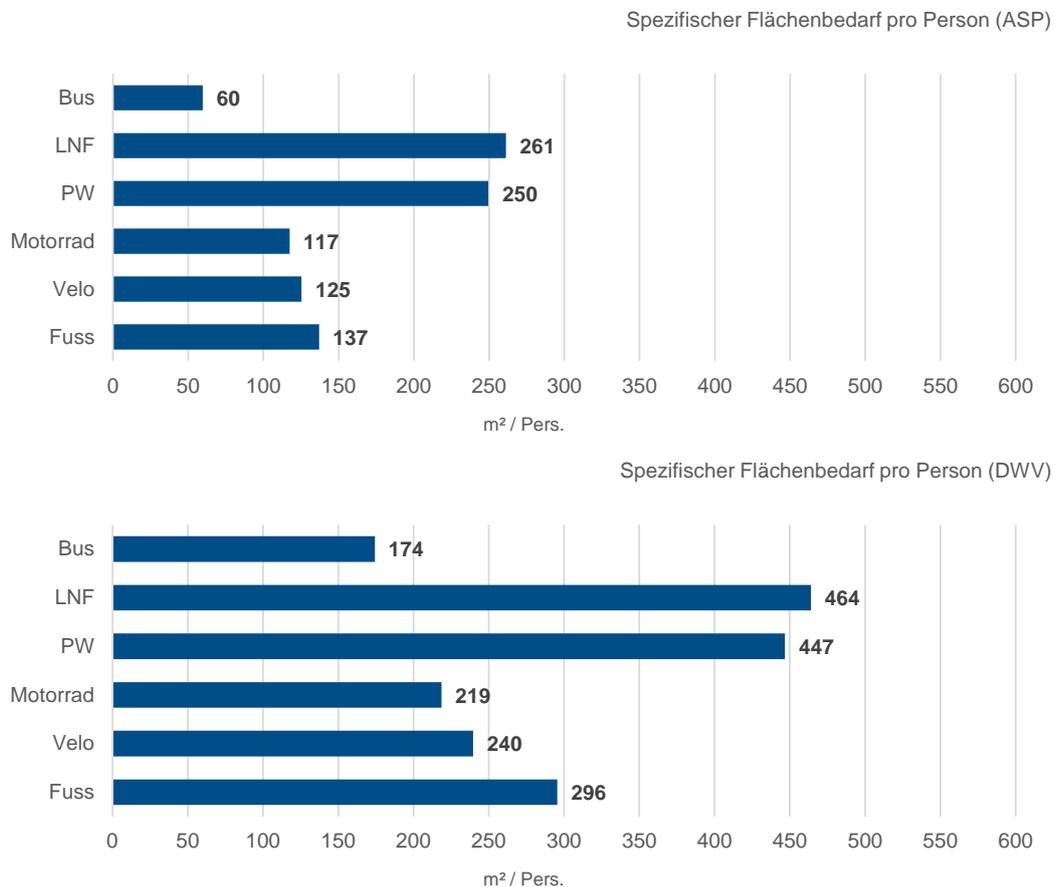
<sup>8</sup> Tiefbauamt der Stadt Zürich (2010), „Belegung und Verkehrsaufkommen von Parkfeldern in der Stadt Zürich“, Zürich

### 4.2.3 Datenaufbereitung

Bevor die Grundlagendaten als Input für das Modell verwendet werden konnten, mussten folgende vorgelagerte Berechnungsschritte ausgeführt werden:

- Zusammenfassen der räumlichen Daten der Verkehrsflächen anhand der Verkehrsmittel, welche diese Fläche beanspruchen und Berechnung der Fläche mittels GIS-Analyse;
- Zusammenfassen der Verkehrszählungen von MIV, Fuss- und Veloverkehr mittels Datenbankabfragen in MS Access auf die gewünschten Zeiträume (Werktag und Spitzenstunde);
- Ermitteln der Anzahl Kurse und der Nachfrage des öffentlichen Verkehrs im Linienabschnitt Johanniterbrücke - Erasmusplatz für die Abendspitzenstunden und einen durchschnittlichen Werktag anhand der Belastungsteppiche;
- Berechnen der mittleren Fahrzeuggrösse, da die Fahrzeugkategorien aus der Verkehrszählung weiter zusammengefasst wurden. Fahrzeuge mit Anhänger wurden der Kategorie des Zugfahrzeugs zugeordnet.

### 4.2.4 Resultate



**Abb. 21** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde und des durchschnittlichen Werktags, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse»; ohne ruhenden Verkehr.

Der Busverkehr weist in der Abendspitze mit 60 m<sup>2</sup>/Pers. den tiefsten spezifischen Flächenbedarf auf. Danach folgen Motorrad mit 117, Velo mit 125, Fussverkehr mit 137 sowie PW und LNF mit 250 respektive 261 m<sup>2</sup>/Pers.

Der Busverkehr hat einen spezifischen Flächenbedarf, der um rund 200 m<sup>2</sup> tiefer liegt als der vom Personenwagenverkehr. Das ist darauf zurückzuführen, dass eine hohe Anzahl

von Personen (638) den betrachteten Raum mit dem Bus durchqueren, aber die spezifische, dem Bus allozierte Fläche eher gering ist (102 m<sup>2</sup> siehe Grafiken im Anhang). Im Gegensatz braucht der PW für die transportierten Personen (890) auch deutlich mehr Fläche (599 m<sup>2</sup>). In diesem Zusammenhang spielt der höhere Besetzungsgrad (Personen/Fahrzeug) im ÖV eine zentrale Rolle. Zudem existiert die Flächenintensive Busspur nur in einer Richtung.

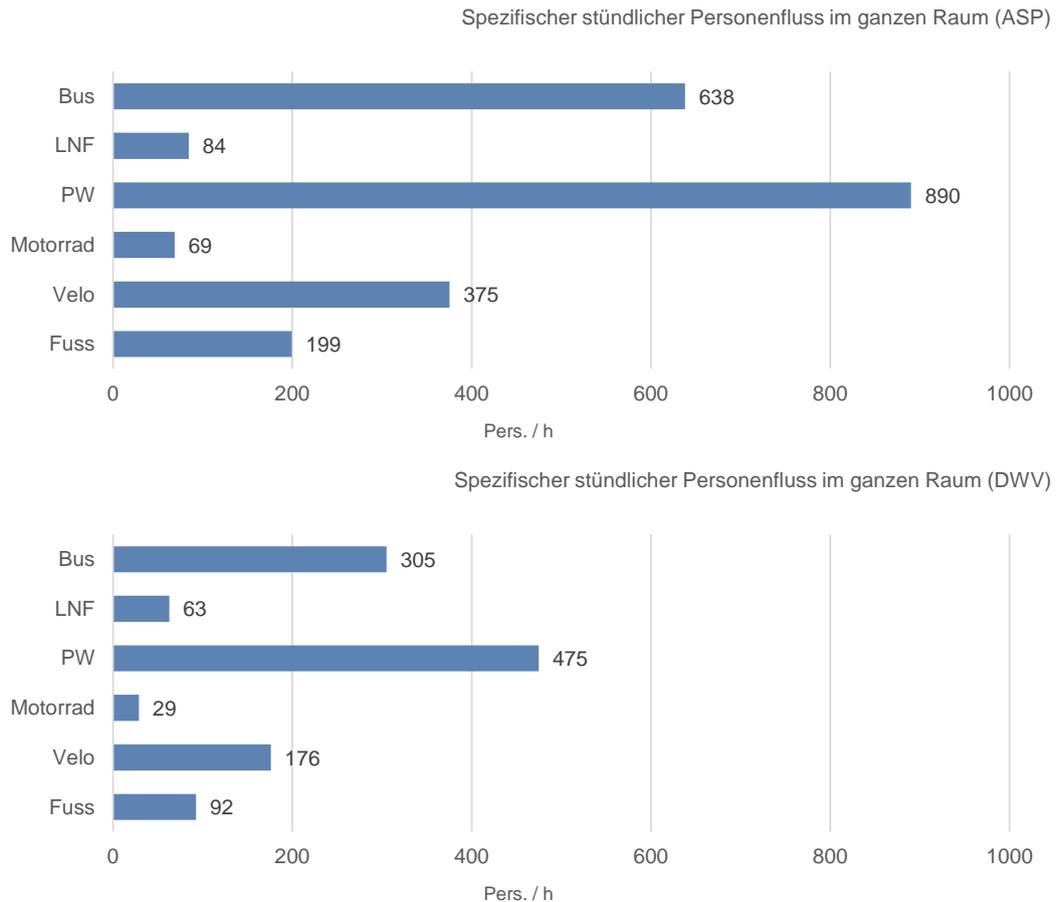
Der Modus Motorrad fällt mit einem tiefen Flächenbedarf pro Person von 117 m<sup>2</sup>/Pers. (ASP) auf, der sogar unter dem Flächenbedarf der Velos liegt. Der Grund dafür ist, dass Motorräder einerseits eine kleine Fläche (ähnlich wie Velos) aufweisen, andererseits aber eine deutlich höhere Geschwindigkeit haben, was die zeitliche Beanspruchung der Fläche reduziert (22 m<sup>2</sup> für Motorrad vs. 373 m<sup>2</sup> für Velo), und dies, obwohl das Velo deutlich mehr (375 vs. 69) Personen transportiert. Dieser Effekt wird durch die lokalen Gegebenheiten zusätzlich verstärkt, da in Fahrtrichtung Grossbasel der Veloverkehr eine separate Verkehrsfläche hat (Velostreifen) und in der Gegenrichtung die Busspur mitbenutzt, was einen hohen Flächenverbrauch bewirkt.

Der Fussverkehr hat im Vergleich zu den anderen Modi einen eher hohen Flächenbedarf von 137 m<sup>2</sup>/Pers. (ASP). Das ist darauf zurückzuführen, dass die grosse allozierte Fläche (592 m<sup>2</sup>) von einer kleinen Anzahl von Personen (199) verwendet wird. Hierbei ist zu beachten, dass dieser Wert die aktuelle Situation beschreibt und nicht auf die theoretisch mögliche Effizienz des Fussverkehrs hinweist.

Schliesslich weisen LNF und PW einen ähnlichen spezifischen Flächenbedarf auf. Der höhere Flächenbedarf beim LNF (261 statt 250 während der ASP) ist auf die grössere Gebrauchsfläche der LNF zurückzuführen.

Bei allen Modi ist der Flächenbedarf bei der Betrachtung eines ganzen Werktags zwischen 1.8- bis 2.9-mal höher als bei einer Spitzenstundenbetrachtung. Besonders gross (Faktor 2.9) ist der Unterschied beim Bus, was aufgrund der beschränkten Betriebsdauer nicht überrascht. Auch beim Fussverkehr ist der spezifische Flächenbedarf bei der Tagesbetrachtung mehr als doppelt so gross als in der Abendspitzenstunde. Beim MIV ist die Tagesganglinie gleichmässiger, was zu einem weniger grossen Unterschied zwischen DWV- und ASP-Betrachtung führt.

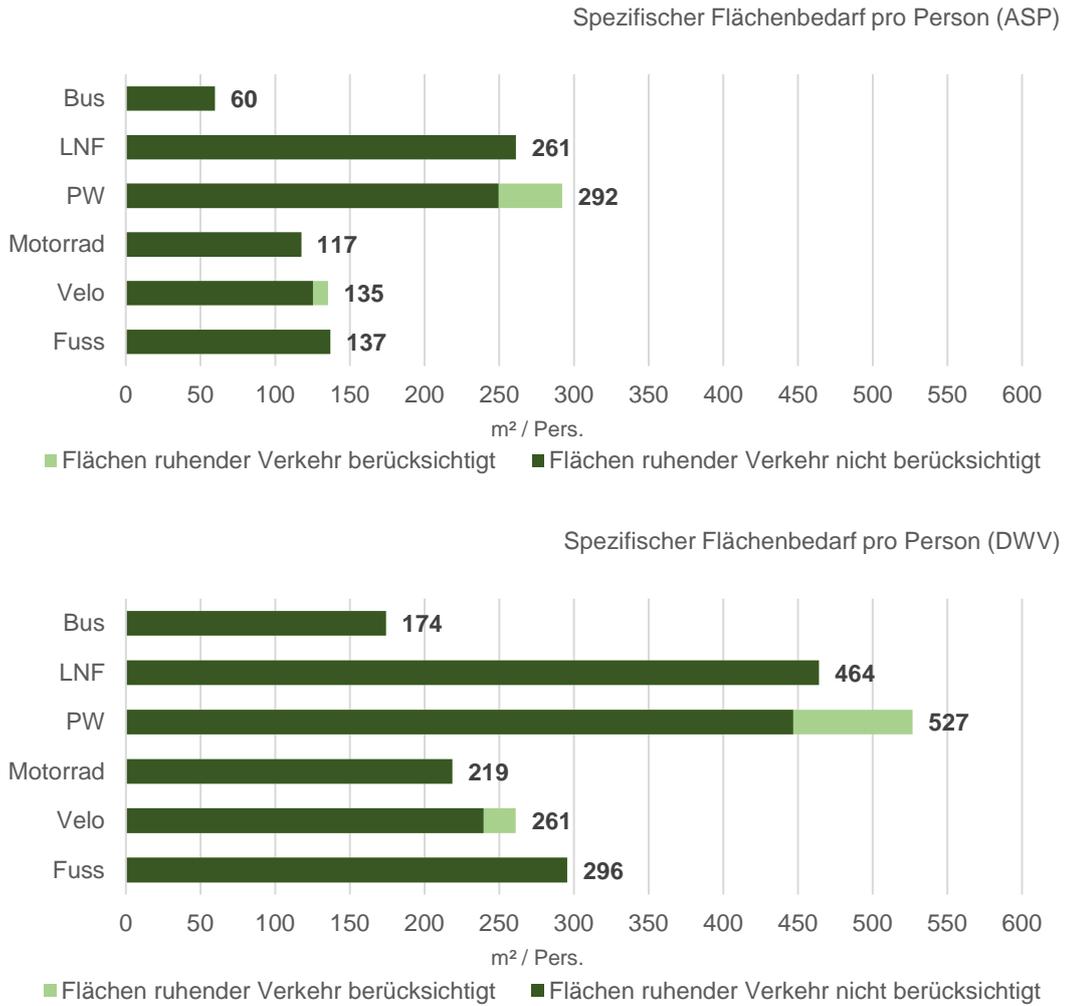
Die folgenden Abbildungen zeigen den zugrundeliegenden Personenfluss für ASP und DWV. Die Grafiken zur allozierten Fläche je Modus finden sich im Anhang.



**Abb. 22** Personenfluss ASP und DWV, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse».

In diesem Fallbeispiel beansprucht der ruhende Veloverkehr rund 30 m<sup>2</sup> (Veloabstellflächen auf Trottoir), ruhende Personenwagen rund 102 m<sup>2</sup> (MIV-Parkfelder auf Trottoirniveau). Die Veloabstellflächen wie auch die PW-Parkfelder wurden zu 100% dem Modus Velo und PW zugeordnet (Nutzbarkeitsfaktor = 0). Obwohl sich die Parkflächen auf Trottoirniveau befinden, werden sie wohl kaum durch den Fussverkehr mitgenutzt. Es ist ein durchgängiges Trottoir vorhanden und aufgrund der Platzierung zwischen den Bäumen bringt die Benützung für den Fussverkehr keinen Vorteil.

In der vorhergehenden Auswertung wurden die Flächen des ruhenden Verkehrs beim Verhältnis zwischen allozierter Fläche und Anzahl Personen nicht mitberücksichtigt. Die Abb. 23 zeigt den spezifischen Flächenbedarf pro Person, wenn die Summe aus den Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs pro Modus verwendet wird.

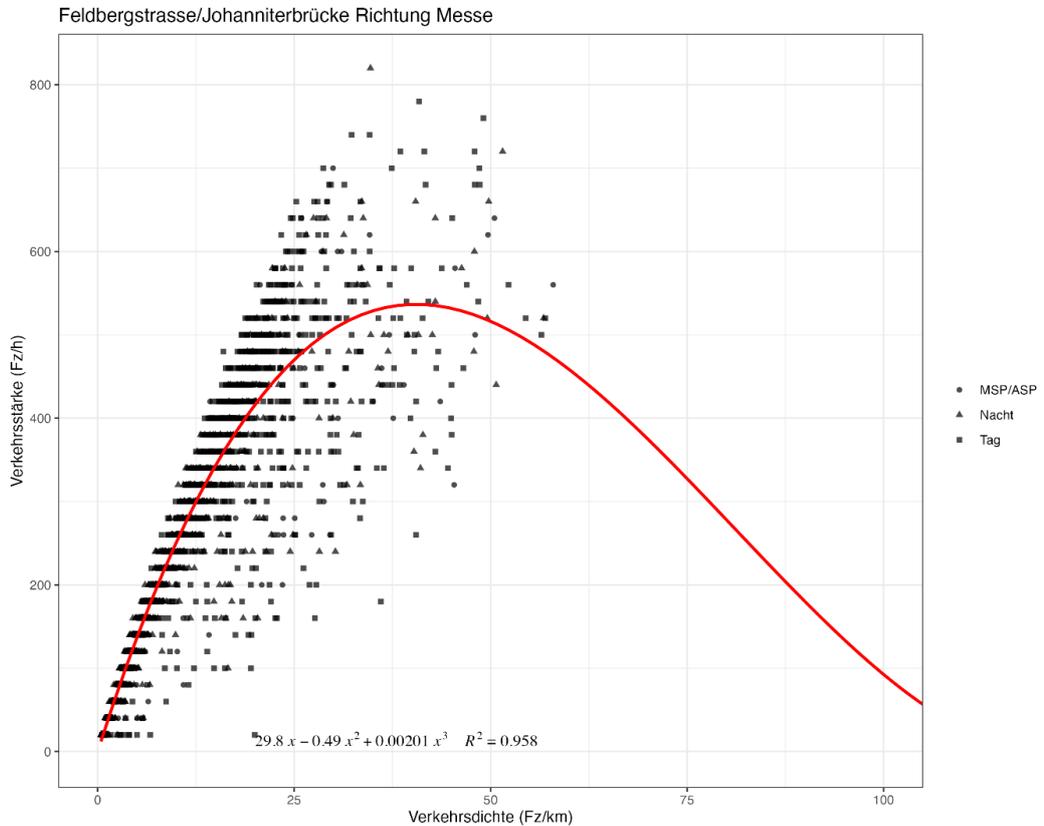


**Abb. 23** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde und des durchschnittlichen Werktags unter Berücksichtigung der Flächen des ruhenden Verkehrs, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse».

Im Vergleich zur Berechnung ohne Flächen des ruhenden Verkehrs, nimmt während der ASP der Flächenbedarf pro Person um rund 40 m<sup>2</sup> oder rund 17% (PW) und 10 m<sup>2</sup> oder knapp 10% (Velo) zu. Das führt auch dazu, dass der Flächenbedarf der Personenwagen nun grösser ist als bei den LNF. Grund für diese Verschiebung ist, dass die Fläche der Parkfelder nur den Personenwagen alloziert wird. Es sind keine Daten zur Nutzung der Parkfelder durch die einzelnen Modi verfügbar, jedoch kann aufgrund des wesentlich höheren Verkehrsaufkommens im Personenwagenverkehr als im LNF- und Motorradverkehr (siehe Abb. 22) davon ausgegangen werden, dass die Parkfelder vor allem durch Personenwagen belegt werden.

#### 4.2.5 Resultate unter Verwendung des Fundamentaldiagramms

Auf Grund der fragmentierten Flächensituation sowie der fehlenden Erfassung des Verkehrs ist eine direkte Anwendung von Variablenwerte aus dem Fundamentaldiagramm FD nicht möglich. Für jede Situation, d.h. jede Änderung im Modalsplit je Fläche bzw. Querschnitt, müssten die Auswertungen separat unternommen werden.



**Abb. 24** Fundamentaldiagramm Feldbergstrasse; die rote Linie zeigt den geschätzten vollständigen Verlauf basierend auf den beobachteten Werten an; für sämtliche auf der MIV-Fahrbahn verkehrenden Fahrzeuge; MSP/ASP = 07-08+17-18h, Tag: 8-17h, 18-07h; Daten: Kanton BS; Aufbereitung FD: transcality/L. Ambühl.

Aus den Messpunkten geht hervor, dass das Optimum auf dieser Strecke bei 550 Fz/h liegt. Das ist ein üblicher Wert für innerstädtische, übergeordnete Strassen.

## 4.3 Fallbeispiel getrennte Verkehrsfläche: Basel Wettsteinbrücke

### 4.3.1 Untersuchungsraum

Bei diesem Fallbeispiel wird der gesamte Strassenraum der Wettsteinbrücke untersucht. Der Perimeter erstreckt sich vom Theodorskirchplatz bis zur Einmündung der St. Alban-Vorstadt. Auch hier ist der Raum anhand der verfügbaren Zählraten gewählt. Die Zählstellen für MIV und Veloverkehr befindet sich am rechten Rheinufer, die Zählstelle für den Fussverkehr am linken Ufer. Der Fussverkehr kann den Untersuchungsperimeter auf Höhe Oberer Rheinweg über eine Treppe verlassen und betreten, sodass die Anzahl FussgängerInnen im Abschnitt Oberer Rheinweg bis Theodorskirchplatz von den Zählwerten abweichen kann. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wird dadurch die Zahl der FussgängerInnen über den ganzen Raum betrachtet leicht überschätzt.

Innerhalb des Perimeters erfolgt die Verkehrsabwicklung hauptsächlich auf getrennten Verkehrsflächen. Beidseitig sind Trottoir und Velostreifen vorhanden. Der MIV wird auf je einer Spur pro Richtung geführt. Das Tramtrasse ist in Mittellage. Lediglich im Bereich der Knoten kommt es zu Mischverkehrssituationen zwischen MIV und Veloverkehr.

Die Wettsteinbrücke ist als Hauptverkehrsstrasse klassiert. Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit für den MIV beträgt 50 km/h. Das Tram verkehrt mit einer Geschwindigkeit von 45 km/h. Im untersuchten Abschnitt verkehren drei Tramlinien (1, 2 und 15). Die Linie 15 befährt die Strecke nur in Richtung Kleinbasel und bei der Linie 1 verkehren nur Verstärkerkurse über die Wettsteinbrücke. Während der Hauptverkehrszeit ergibt das 40 Kurse pro Stunde (beide Richtungen).



**Abb. 25** Perimeter Fallbeispiel Wettsteinbrücke. Hintergrund: SWISSIMAGE. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.

### 4.3.2 Datenverfügbarkeit und Erhebung

Die Datenquellen wurden analog dem Fallbeispiel Feldbergstrasse gewählt. Die Infrastrukturf lächen wurden aus dem erweiterten AV-Datensatz der Stadt Basel berechnet. Die Angebots- und Nachfragezahlen des öffentlichen Verkehrs stammen aus der Erhebung der BVB für das erste Quartal 2022. Der Verkehrs- und Personenfluss für die Verkehrsarten MIV, Velo- und Fussverkehr wurde anhand der automatischen Zählstellen (siehe auch Kapitel 4.3.1 Untersuchungsraum) ermittelt. Zu den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten im MIV standen keine Daten für den untersuchten Abschnitt zur Verfügung, weshalb hier die Werte der Feldbergstrasse verwendet wurden.

Die Definition der Situationen und die Zuweisung der Flächen gestaltet sich aufgrund der getrennten Verkehrsflächen in diesem Perimeter deutlich einfacher als beim Fallbeispiel Feldbergstrasse. Wie auf der Abb. 26 zu erkennen ist, gibt es nur zwei Mischverkehrssituationen. Im Bereich der Knoten ist die separate Veloführung unterbrochen und MIV und Velos werden im Mischverkehr geführt. Die zweite Mischverkehrssituation ist für die Allokation der Sperrflächen bei der Einmündung der St. Alban-Vorstadt erforderlich (siehe auch Kapitel 3.4). Die Sperrfläche wird dem MIV, ÖV und Veloverkehr zugeordnet, was die Berücksichtigung des Trams als Modus in einer Mischverkehrssituation erfordert. Die Angaben zu Länge und Breite der Fahrzeuge werden durch die Basler Verkehrs-Betriebe (BVB) veröffentlicht und sind somit bekannt. Da das Tram ein spurgeführtes Fahrzeug ist, benötigt es keinen Bewegungsspielraum. Die seitlichen Sicherheitsabstände wurden aus dem Lichtraumprofil der BVB abgeleitet und entsprechen dem Abstand von Wagenkasten bis zur Grenzlinie für feste Anlagen auf geraden Strecken (20 cm). Auch wenn in einer Mischverkehrssituation der Abstand zu anderen Fahrzeugen relevant ist, kann der hier gewählte Abstand als jener Teil des Sicherheitsabstandes zwischen sich bewegenden Fahrzeugen betrachtet werden, der dem Tram geschuldet ist. Für den Längsabstand (Zeitabstand) ist ebenfalls kein allgemeingültiger Wert vorhanden. Der hier gewählte Zeitabstand (5.4 s) basiert auf dem Vergleich der Bremswege von Tram und PW und entspricht dem dreifachen Zeitabstand der Personenwagen (Faustregel 1.8 s).

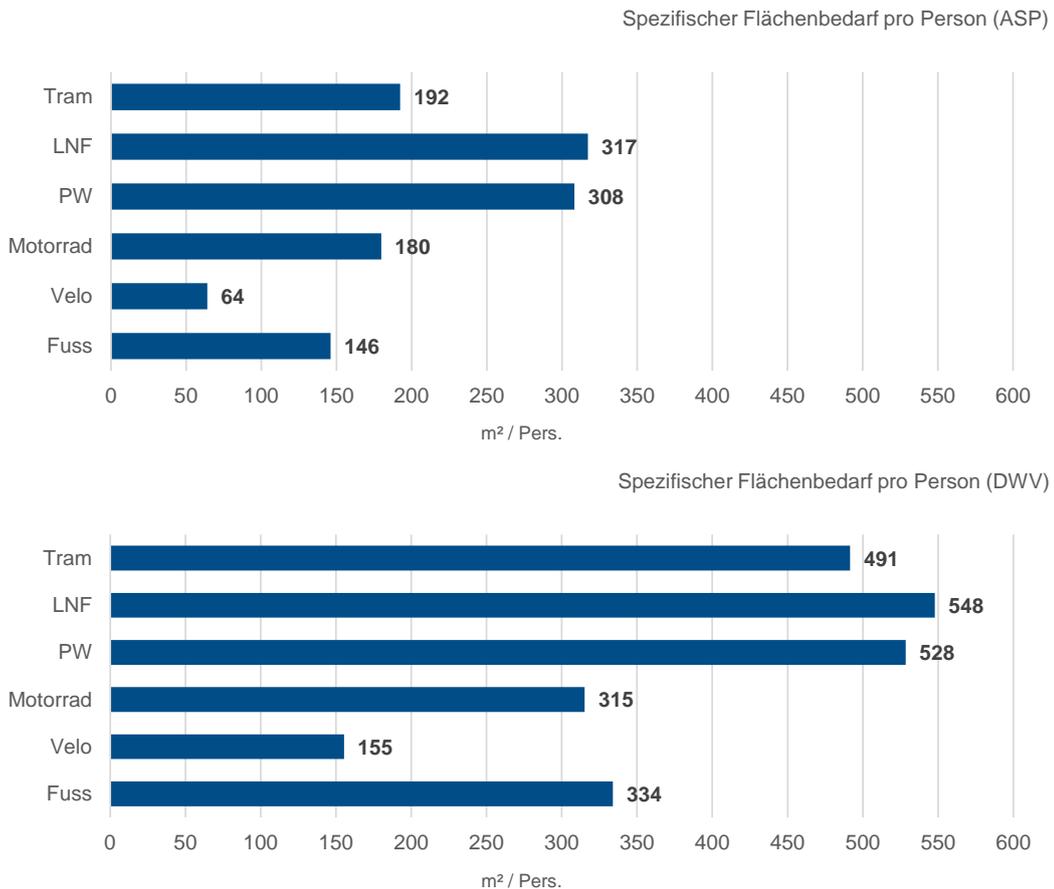


**Abb. 26** Flächenzuordnung Fallbeispiel Wettsteinbrücke. Hintergrund: SWISSIMAGE. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.

### 4.3.3 Datenaufbereitung

Für die Datenaufbereitung waren die gleichen Schritte wie beim Fallbeispiel Feldbergstrasse erforderlich. Zusätzlich musste die Fahrzeugfläche der Trams berechnet werden, da nicht auf allen Linien die gleichen Typen im Einsatz sind. Die Berechnung der durchschnittlichen Fläche erfolgte aus Breite und Länge der Kompositionen gewichtet mit der Anzahl Fahrzeuge pro Typ im betrachteten Zeitraum. Diese Vereinfachung ist möglich, da der spezifische Personenfluss für die einzelnen Tramtypen nicht ausgewiesen wird.

### 4.3.4 Resultate

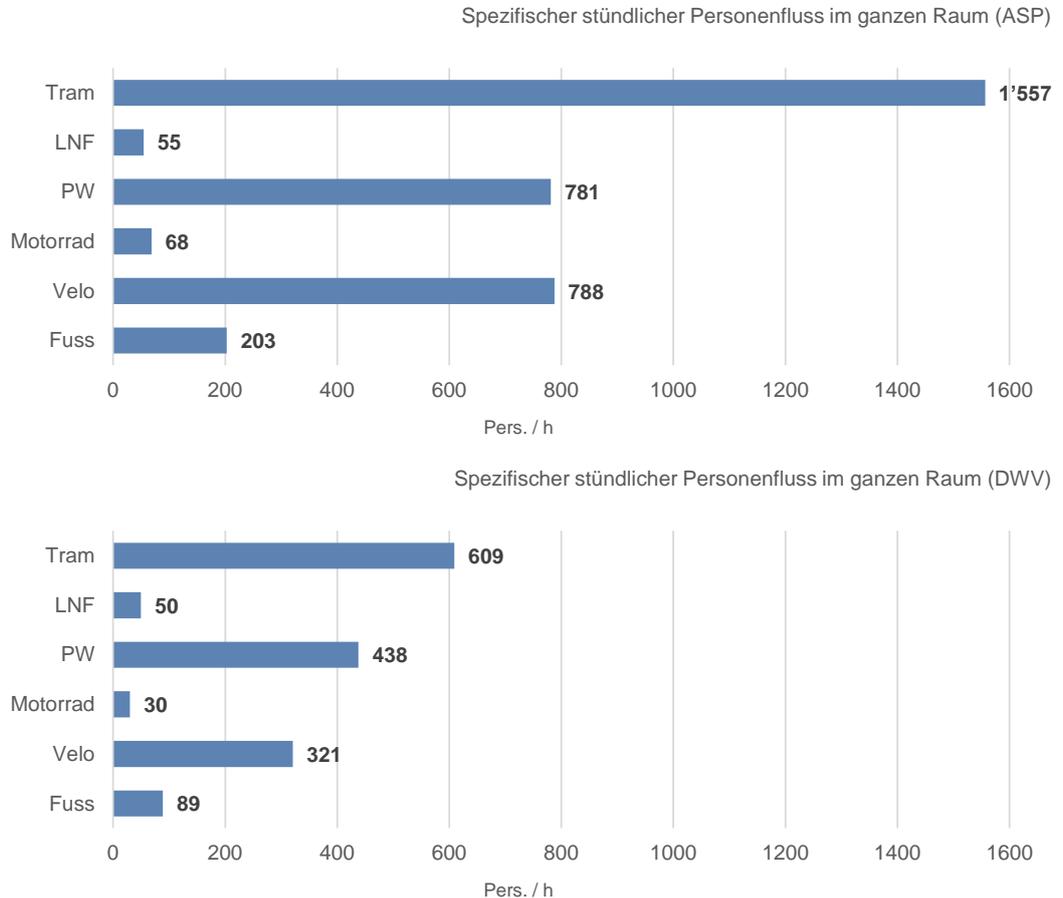


**Abb. 27** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde und des durchschnittlichen Werktags, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke».

Auch bei der Situation mit getrennten Verkehrsflächen ist der spezifische Flächenbedarf pro Person von LNF und PW vergleichbar (LNF 317 m<sup>2</sup>/Pers. und PW 308 m<sup>2</sup>/Pers. ASP) und der Modus Motorrad hat einen deutlich tieferen Flächenbedarf (180 m<sup>2</sup>/Pers.). Diese drei Modi teilen sich grösstenteils die gleiche Verkehrsfläche. In diesem Fallbeispiel ist jedoch der Veloverkehr deutlich effizienter als der MIV. Der Grund liegt bei dem hohen Personenfluss im Veloverkehr (788 Pers./h). Dieser Wert ist sogar leicht höher als bei den PW (781 Pers./h). Der Veloverkehr benötigt aber für den vergleichbaren Personenfluss eine wesentlich kleinere Infrastrukturfäche (Faktor 0.62).

Der spezifische Flächenbedarf pro Person im ÖV (Tram) ist in diesem Fallbeispiel sehr hoch (vergleiche Fallbeispiele Feldbergstrasse und Frick). Dies ist auf mehrere Effekte zurückzuführen. Im Querschnitt Wettsteinbrücke verkehren drei Tramlinien (1, 2, 15), wobei die Linie 15 nur in Richtung Kleinbasel die Wettsteinbrücke befährt und somit während der Abendspitze eine sehr tiefe Nachfrage aufweist (Gegenlastrichtung). Weiter ist zu beachten, dass insbesondere die Nachfragedaten des ÖV (Q1 2022) aufgrund der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie allgemein etwas tiefer sind.

Der Fussverkehr hat bei der ASP-Betrachtung den zweitkleinsten Flächenbedarf mit rund 146 m<sup>2</sup>/Pers. Wird ein ganzer Werktag betrachtet ist der Bedarf von rund 334 m<sup>2</sup>/Pers. im Vergleich zu den anderen Modi mittelmässig. Die Fussverkehrsfläche wird während der Abendspitzenstunde im Vergleich zur Situation an der Feldbergstrasse deutlich besser genutzt. Grundsätzlich lässt sich beim Vergleich von ASP und DWV der gleiche Effekt feststellen, wie beim Fallbeispiel Feldbergstrasse.



**Abb. 28** Personenfluss ASP und DWV, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke».

Im gewählten Perimeter auf der Wettsteinbrücke gibt es keine Flächen für ruhenden Verkehr.

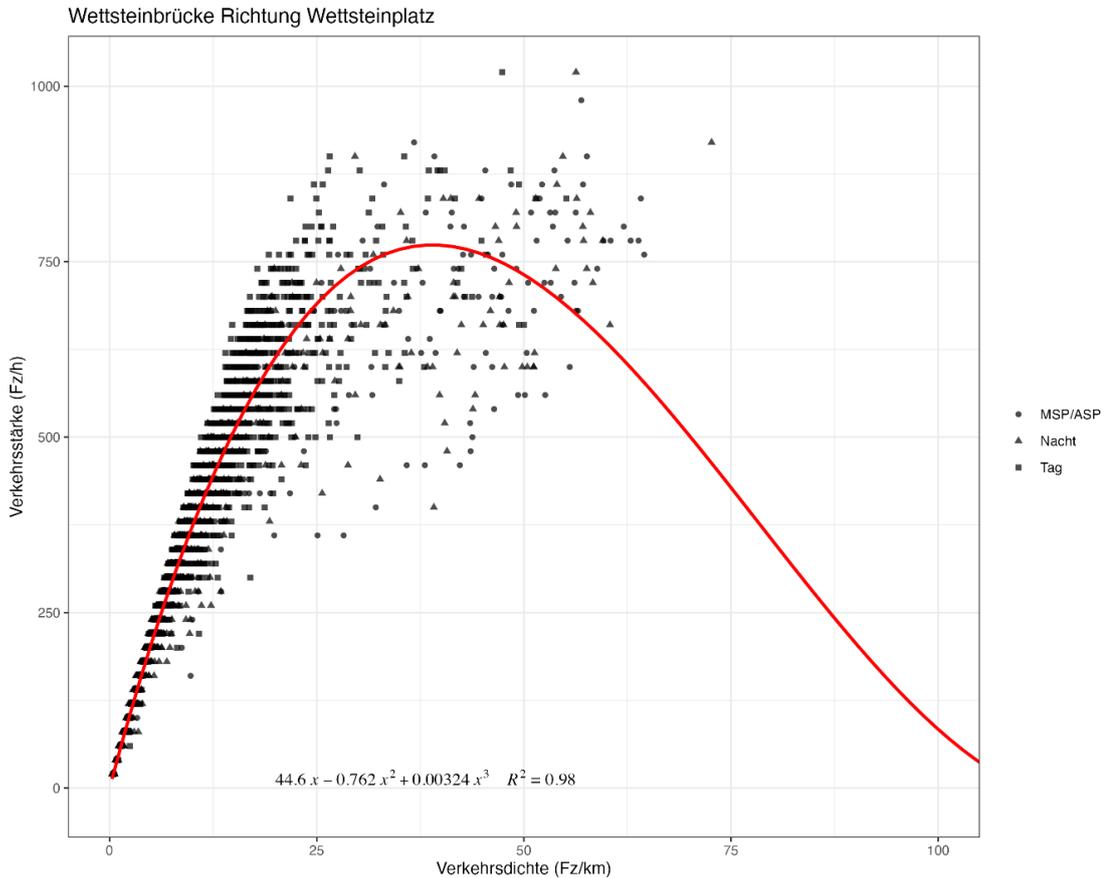
#### 4.3.5 Resultate unter Verwendung des Fundamentaldiagramms

Wie in der Methodik Schritt 4 beschrieben, bietet es sich an, mit Hilfe des Fundamentaldiagramms (FD) des Perimeters sämtliche von der Geschwindigkeit abhängige Variablen statt mit Annahmen, auf Messungen beruhenden Daten zu ersetzen. Zudem kann damit ein Vergleich zwischen real vorgefundenem Verkehrsgeschehen und einem Optimum (maximaler Durchfluss von Fahrzeugen bei gegebener Infrastruktur) gezogen werden.

Der Abschnitt Wettsteinbrücke eignet sich dafür gut, weil die Modi ihre eigene Fläche haben. Für diese Arbeit liegen belastbare Daten einer Dauerzählstelle für sämtliche autoähnlichen Fahrzeuge vor (PW, Lieferwagen, Motorräder, Lastwagen), jedoch nicht aufgeschlüsselt nach Typ. Für den Fuss- und Veloverkehr liegen diese Daten leider nicht vor. Das heisst, um hier die Vorteile des FD anzuwenden, müssen alle der verfügbaren Verkehrstypen in ein Gesamtverkehrsaufkommen aggregiert werden. Die Auswertungen können im Moment nur auf Stufe Fahrzeug vorgenommen werden und nicht auf Stufe beför-

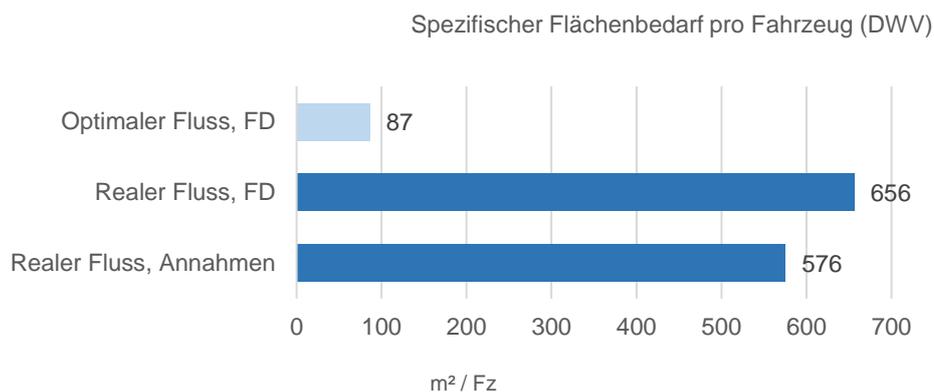
derte Personen (wobei dies mittels Annahmen zu durchschnittlichen Besetzungsraten einfach umgerechnet werden kann). Trotzdem zeigen sie gut auf, wie das FD in die Methode integriert werden kann.

Die folgenden Angaben zeigen die vergleichenden Resultate für den linearen Teil des Perimeters (die Wettsteinbrücke) in Fahrrichtung Wettsteinplatz. Zunächst wird das FD für diese Strecke ausgewiesen, anschliessend ein Vergleich zwischen den Resultaten basierend auf gewissen angenommenen Variablen, den Resultaten mit FD-Daten und den Ergebnissen im Optimalzustand gemäss FD. Dies je für den DWV und die ASP.



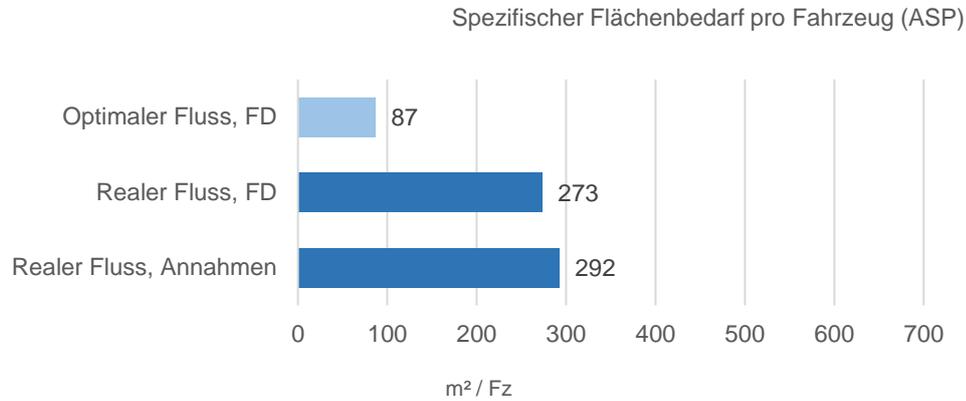
**Abb. 29** Fundamentaldiagramm Wettsteinbrücke; die rote Linie zeigt den geschätzten vollständigen Verlauf basierend auf den beobachteten Werten an; für sämtliche auf der MIV-Fahrbahn verkehrenden Fahrzeuge; MSP/ASP = 07-08+17-18h, Tag: 8-17h, 18-07h; Daten: Kanton BS; Aufbereitung FD: transcality/L. Ambühl.

Die rote Kurve zeigt den Zusammenhang zwischen Fluss und Dichte auf. Der Verlauf der Kurve liegt im erwartbaren Rahmen einer übergeordneten Strasse in der Schweiz.



**Abb. 30** Vergleich zwischen reiner FD-Methode mit realem Fluss (Messung: **DWV**) und Bottom-up Methode «Realer Fluss, Annahmen» mit auf FD basierenden Variablen sowie optimalem Fluss gemäss FD; Daten: Kanton BS; Aufbereitung FD: transcality/L. Ambühl.

Ein Vergleich zeigt, dass die Annahmen zu den geschwindigkeitsabhängigen Variablen im Modell recht gut zutreffen. Im Falle des DWV unterschätzen sie in der Tendenz den Flächenverbrauch. Wären Fluss und Dichte optimal (Fluss: ca. 760 Fz/h, Dichte: ca. 38 Fz/km, Geschwindigkeit: ca. 20 km/h) würde das gleiche Fahrzeug nur rund 90 m<sup>2</sup> beanspruchen.



**Abb. 31** Vergleich zwischen reiner FD-Methode mit realem Fluss (Messung: **ASP**) und Bottom-up Methode «Realer Fluss, Annahmen» mit auf FD basierenden Variablen sowie optimalem Fluss gemäss FD; Daten: Kanton BS; Aufbereitung FD: transcality/L. Ambühl.

Ein Vergleich zeigt, dass die Annahmen zu den geschwindigkeitsabhängigen Variablen im Modell recht gut zutreffen. Im Falle der ASP überschätzen sie in der Tendenz den Flächenverbrauch. Wären Fluss und Dichte optimal (Fluss: ca. 760 Fz/h, Dichte: ca. 38 Fz/km, Geschwindigkeit: ca. 20 km/h) würde das gleiche Fahrzeug nur rund 90 m<sup>2</sup> beanspruchen.

## 4.4 Resultate Makroskopisches Fundamentaldiagramm Kleinbasel

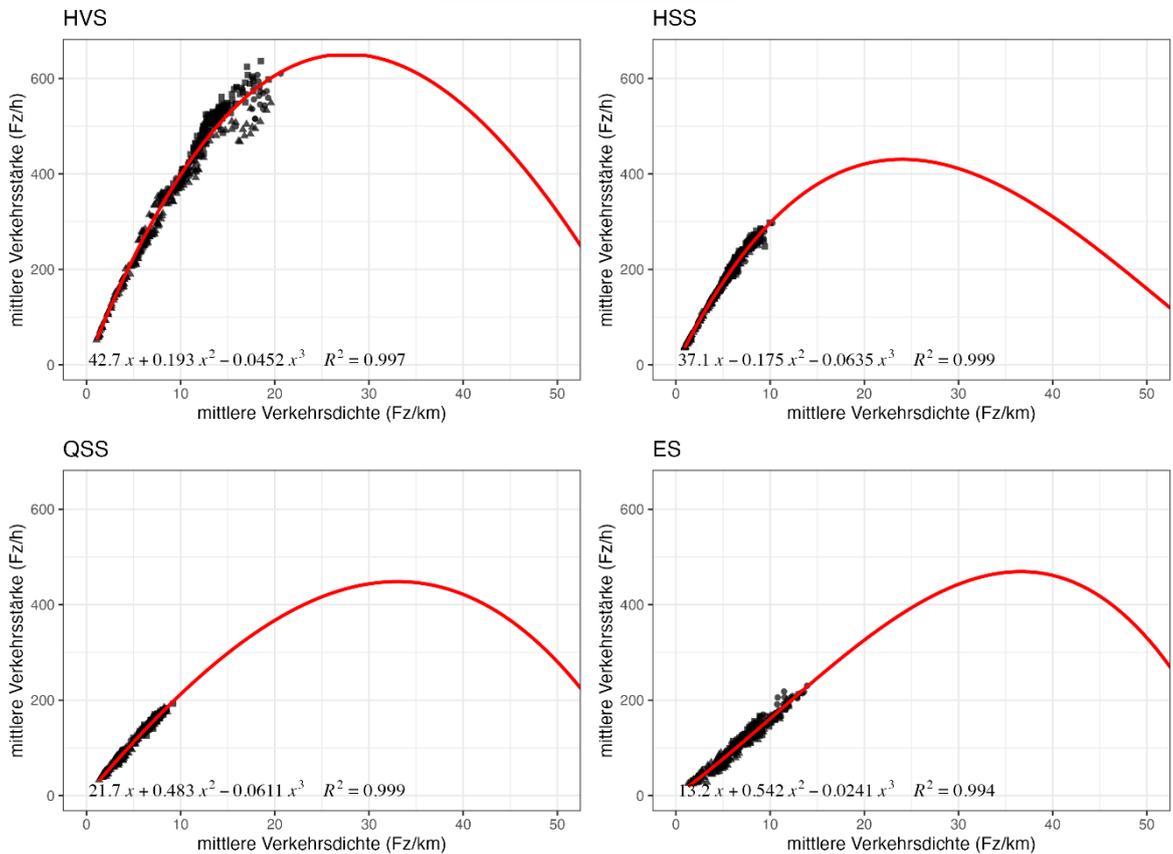
In den zwei vorangehenden Kapiteln werden die Werte je Segment ausgewiesen. Es ist möglich, mehrere Strecken in ein übergreifendes Fundamentaldiagramm zusammenzufassen. Dieses makroskopische Fundamentaldiagramm MFD lässt sich als einen für den Gesamtperimeter durchschnittlichen Wert auffassen. Der betrachtete Perimeter umfasst weite Teile von Kleinbasel.



**Abb. 32** Perimeter makroskopisches Fundamentaldiagramm des Kleinbasels, in rot MIV-Messstellen, in grün Velozählstellen, in blau Fussverkehrszählstellen (zum Teil überlagernd); Kartenmaterial: Kanton BS.

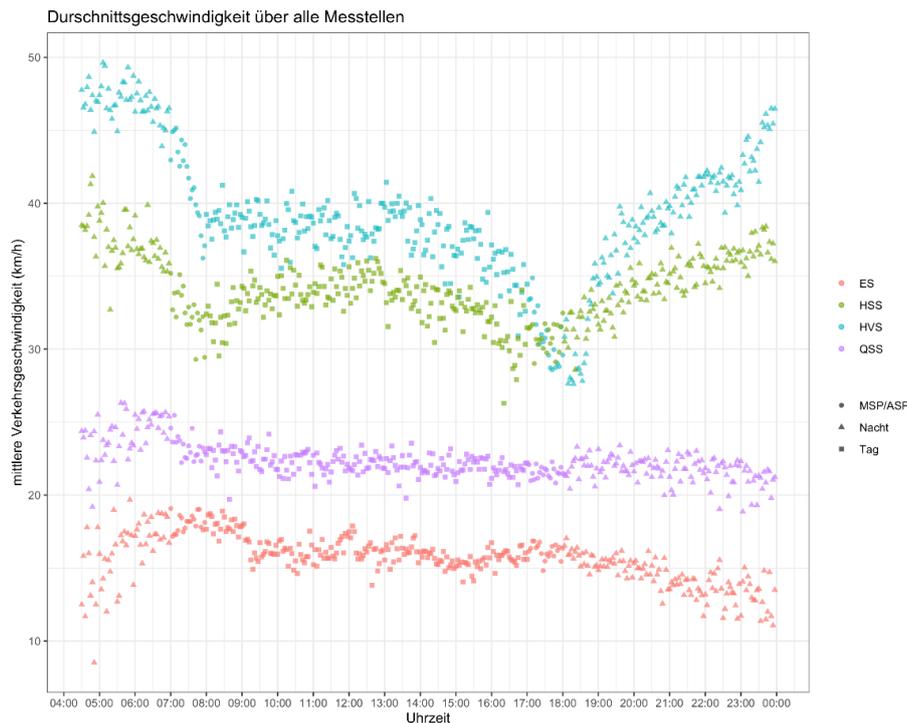
MFD über alle Messstellen im Perimeter

● MSP/ASP ▲ Nacht ■ Tag



**Abb. 33** Resultate der MFD nach Strassenhierarchie gegliedert (alle berücksichtigte Zählstellen im Perimeter Kleinbasel); HVS: Hauptverkehrsstrasse, HSS: Hauptsammelstrasse, QSS: Quartiersammelstrasse, ES: Erschliessungsstrasse; die rote Linie zeigt den geschätzten vollständigen Verlauf basierend auf den beobachteten Werten an; für sämtliche auf der MIV-Fahrbahn verkehrenden Fahrzeuge; MSP/ASP = 07-08+17-18h, Tag: 8-17h, 18-07h; Daten: Kanton BS; Aufbereitung FD: transcality/L. Ambühl.

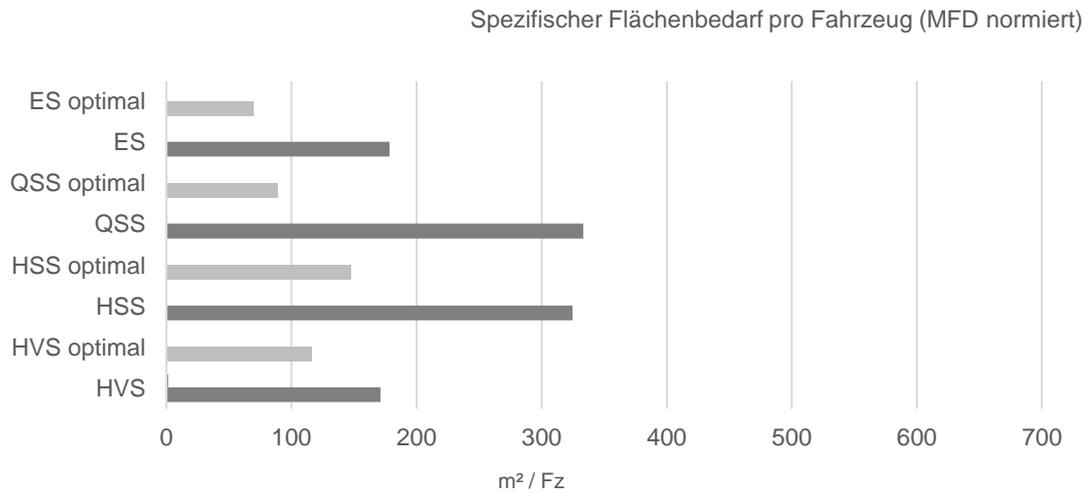
Die ermittelten MFDs je Strassentyp zeigen auch hier erwartbare Werte für den Kontext einer Schweizer Stadt. Die Unterschiede in der Kurvenform gehen auf die Eigenschaften der Netzelemente zurück wie signalisierte Geschwindigkeit, Gestaltung, Wechselwirkungen zwischen den Verkehrsteilnehmenden und Interaktion zwischen Strecke und Knoten. Es ist zu bedenken, dass es hier um hochaggregierte Werte geht. Eine wichtige Variable ist die Geschwindigkeit und deren Verlauf über den Tag.



**Abb. 34** Resultate der Geschwindigkeiten über den Tag nach Strassenhierarchie gegliedert (alle berücksichtigte Zählstellen im Perimeter Kleinbasel); HVS: Hauptverkehrsstrasse, HSS: Hauptsammelstrasse, QSS: Quartiersammelstrasse, ES: Erschliessungsstrasse; MSP/ASP = 07-08+17-18h, Tag: 8-17h, 18-07h; Daten: Kanton BS; Aufbereitung Plot: transcality/L. Ambühl.

Die Resultate zeigen auf den untergeordneten Strassen relativ tiefe und über den Tag konstante Werte. Bei den übergeordneten Strassen ist die Geschwindigkeit deutlich vom Verkehrsaufkommen abhängig.

Daraus lässt sich der durchschnittliche Flächenverbrauch je Strassentyp unter normierten Bedingungen und mit den Kleinbasler Eigenschaften abbilden. Diese Modellierung gilt für autoähnliche Fahrzeuge und differenziert nicht nach Fahrzeugtyp. Die Werte sind auf ein 100 m langes Strassensegment normiert und mit der in dieser Arbeit beschriebenen Methode errechnet. Als auftretender Fluss bzw. vorhandene Dichte je Strassenkategorie wird der maximal liegende Datenpunkt genommen. Das heisst, es wird derjenige Punkt auf der roten Kurve der MFDs verwendet, der noch durch Messpunkte abgedeckt ist. Diese Wahl widerspiegelt somit eine Form der «konservativen Infrastruktur-Effizienz». Alternativ könnte zum Beispiel auch der Mittelwert oder Median der Datenpunktmenge genommen werden.



**Abb. 35** Normierte Werte nach Strassenhierarchie gegliedert (alle berücksichtigte Zählstellen im Perimeter Kleinbasel) mittels MFD-Angaben; HVS: Hauptverkehrsstrasse, HSS: Hauptsammelstrasse, QSS: Quartiersammelstrasse, ES: Erschliessungsstrasse; Normiert auf ein 100 m Segment; Annahmen Fahrbahnbreite: ES=2.5 m, QSS= 3m, HSS=3.25 m, HVS=3.25 m; Daten: Kanton BS; Aufbereitung MFD: transcality/L. Ambühl.

Die normierten Resultate zeigen, dass sich im Kleinbasler Fall unter optimalen MFD-Eigenschaften der normierte Flächenverbrauch je Fahrzeug vergleichsweise wenig unterscheidet zwischen den Strassentypen. Am geringsten ist er bei einer Erschliessungsstrasse, am höchsten bei einer Hauptsammelstrasse. Betrachtet man die maximal detektierten MFD-Kenngrössen, so schneidet die Erschliessungsstrasse sowie die Hauptverkehrsstrasse am besten ab. Das ergibt sich daraus, dass bei der Erschliessungsstrasse die Fahrbahn schmäler ist, dafür bei der Hauptverkehrsstrasse der Fluss höher. Insgesamt bleibt bei der Quartiersammelstrasse im Vergleich zu den anderen drei Strassentypen die meiste Fläche «unbenutzt». Bei der Hauptverkehrsstrasse ist die Infrastruktureffizienz am besten.

## 4.5 Fallbeispiel Frick Hauptstrasse

### 4.5.1 Untersuchungsraum

In diesem Fallbeispiel wird ein Hauptstrassenabschnitt im Zentrum von Frick beurteilt. Der Abschnitt hat eine Länge von rund 42 m und liegt im Bereich der Hausnummern 48-52. In demselben Abschnitt wurde bereits mit einer anderen Methodik<sup>9</sup> die Flächeneffizienz der Verkehrsmittel ermittelt.

Der Perimeter erstreckt sich über den gesamten Querschnitt von Fassade zu Fassade. Auf beiden Seiten ist ein Trottoir von rund 2 m Breite vorhanden. Die nutzbare Fahrbahnbreite beträgt 7.1 m. Auf der einen Strassenseite sind 1.9 m breite Längsparkplätze auf Fahrbahnniveau markiert (Blaue Zone). Zwischen Trottoir und Hausfassade befinden sich beidseitig private Flächen, welche teilweise auch von FussgängerInnen genutzt werden, jedoch nicht primär für die Abwicklung von Fussverkehr vorgesehen und verwendet werden. Gemäss Kapitel 3.4 sind diese Flächen als ausserhalb des Perimeters zu betrachten und werden nicht in die Allokation einbezogen.

Frick ist gemäss Gemeindetypologie des Bundesamts für Raumentwicklung eine periurbane ländliche Gemeinde. Die Hauptstrasse ist eine kantonale Hauptverkehrsstrasse mit einer Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Im Untersuchungsraum verkehren die drei Buslinien 135, 136 und 137.



**Abb. 36** Perimeter Fallbeispiel Frick. Hintergrund: SWISSIMAGE. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.

### 4.5.2 Datenverfügbarkeit und Erhebung

Zur Ermittlung der Infrastrukturfläche und der Zuordnung der Verkehrssituationen wurden die Daten der Amtlichen Vermessung des Kantons Aargau und die Luftbilder des Bundesamts für Landestopografie verwendet. Die Massangaben in der bereits erwähnten Studie ermöglichten zusätzlich einen Quervergleich zur Verifizierung der Situationen.

Der Verkehrs- und Personenfluss von MIV, ÖV, Velo- und Fussverkehr wurde ebenfalls aus der erwähnten EBP-Studie übernommen. Diese Daten sind nur für die Zeiträume Morgen- und Abendspitzenstunde vorhanden, weshalb bei diesem Fallbeispiel nur die Abendspitzenstunde (ASP) und kein Werktagerverkehr (DWV) beurteilt wird. Um einen Vergleich zwischen dem Ansatz von EBP und dieser Studie zu ermöglichen, wurden auch die Besetzungsgrade übernommen. Diese weichen leicht ab von den gewählten Werten in den anderen Fallbeispielen (PW 1.56 statt 1.1 und LNF 1.0 statt 1.1). Anders als bei der Studie

<sup>9</sup> EBP Schweiz AG (2022), «Flächeneffizienz im Verkehr», Zürich

von EBP werden in dieser Untersuchung die Fahrzeuge der Mikromobilität nicht berücksichtigt.

Die Nachfrage im öffentlichen Verkehr war in der EBP-Studie als Personenstrom pro Minute angegeben. Daraus konnte für dieses Fallbeispiel die Nachfrage in Personen pro Stunde errechnet werden.

Für den MIV, Velo- und Fussverkehr konnten die gleichen mittleren Fahrzeugflächen verwendet werden, wie bei den Fallbeispielen in Basel. Für die Linienbusse standen keine spezifischen Daten zur Abmessung zur Verfügung, weshalb hier die typischen Grössen für Standardbus (12 m) und Gelenkbus (18 m) verwendet wurden.

Für die Allokation der Parkfelder standen keine Daten zu Belegungsdauer und Fahrzeugwechsel zur Verfügung. Auch konnten keine Studienergebnisse zu mittlerer Parkplatzbelegung in der Blauen Zone verwendet werden. Es ist aber grundsätzlich davon auszugehen, dass die Parkplatzfläche auch bei Nichtbelegung kaum vom Veloverkehr genutzt wird. Einzelne Lücken zwischen längsparkierten Fahrzeugen bieten Velofahrenden keinen Mehrwert. Deshalb wurde im vorliegenden Fall ein Nutzbarkeitsfaktor von «0» gewählt, wodurch die Kennzahlen zur Belegung ohnehin nicht mehr für die Berechnung erforderlich sind.

Auf der *Abb. 37* sind die festgelegten Situationen dargestellt. Die gesamten grauen Flächen werden nicht berücksichtigt, da sie nicht für die Abwicklung des Fussverkehrs relevant sind. Die Situation «MIV+Velo» beschreibt die Längsparkplätze, welche aber bereits bei der zeitabhängigen Flächenallokation zu 100% dem ruhenden Verkehr (Modus Personenwagen) zugeordnet werden.



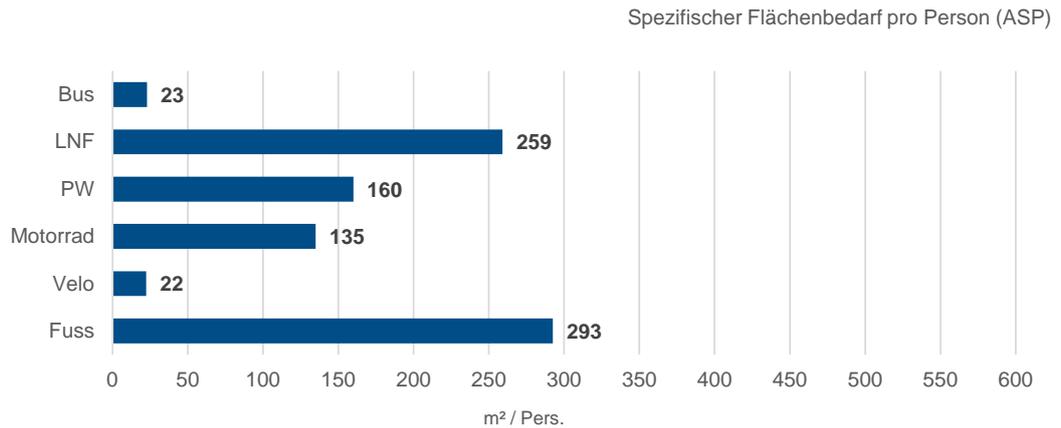
*Abb. 37 Flächenzuordnung Fallbeispiel Frick. Hintergrund: SWISSIMAGE. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.*

### 4.5.3 Datenaufbereitung

Da die Nachfrage- und Verkehrskennzahlen bereits aufbereitet vorlagen und die weiteren Parameter des MIV, Velo- und Fussverkehr von den Fallbeispielen in Basel übernommen werden konnten, mussten die Daten zum Verkehrsgeschehen nicht vorgängig aufbereitet werden. Ein weiterer Berechnungsschritt war zur Ermittlung der Grundfläche der Busse erforderlich, da nicht auf allen Linien die gleichen Typen eingesetzt werden. Als Vereinfachung wurde die durchschnittliche Fläche pro Fahrzeug anhand der Länge und Breite der eingesetzten Bustypen unter Berücksichtigung der Anzahl Fahrzeuge pro Typ im betrachteten Zeitraum berechnet.

### 4.5.4 Resultate

Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurde in Frick nur die Abendspitzenstunde (17:00 - 18:00 Uhr) ausgewertet.

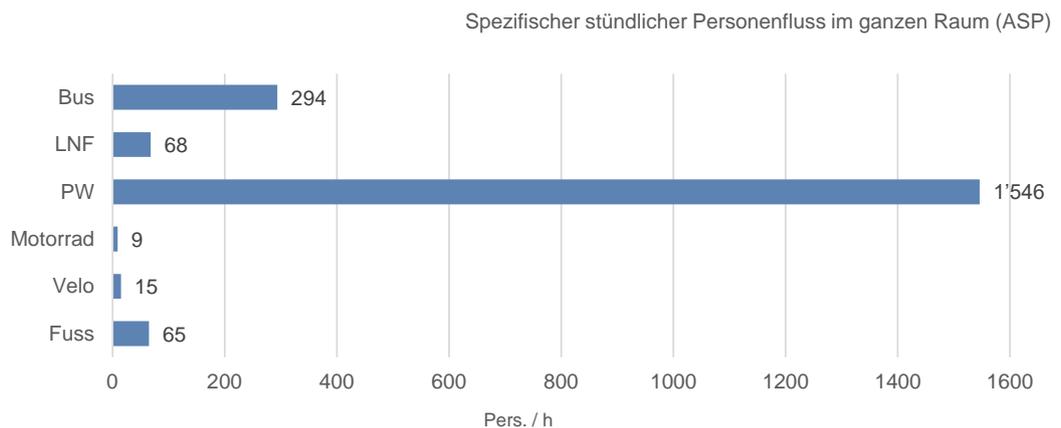


**Abb. 38** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde, Fallbeispiel «Frick Hauptstrasse»; ohne ruhenden Verkehr.

Mit einem spezifischen Flächenbedarf pro Person von 22 m<sup>2</sup>/Pers ist das Velo im betrachteten Raum das effizienteste Verkehrsmittel, dicht gefolgt vom Bus mit 23 m<sup>2</sup>/Pers. Beide Verkehrsmittel fahren im Mischverkehr mit dem MIV, was auch der Grund für diese hohen Werte ist. Im Vergleich zu den PW ist das Verkehrsaufkommen viel tiefer, weshalb nur wenig Fläche diesen Modi zugewiesen wird.

Der Vergleich mit den Fallbeispielen in Basel zeigt, dass der Unterschied zwischen LNF und PW in dieser Situation besonders gross ist. Der Grund hierfür ist, dass zwecks Vergleichbarkeit mit der Studie von EBP, für PW ein höherer (1.56) und für LNF ein tieferer (1.0) Besetzungsgrad angenommen wurde.

Der Fussverkehr hat einen spezifischen Flächenbedarf von 293 m<sup>2</sup>/Pers. und liegt damit sogar 133 m<sup>2</sup> über den Personenwagen. Als einziger Modus in der untersuchten Situation hat der Fussverkehr eine separate, getrennte Verkehrsfläche, was im Vergleich zu den anderen Modi ein deutlicher Nachteil betreffend Flächeneffizienz darstellt. Diese Tatsache ist insbesondere deshalb bemerkenswert, als dass der Verkehrsfluss im Fussverkehr (65 Pers./h) über dem Personenfluss im Veloverkehr (15 Pers./h) liegt.

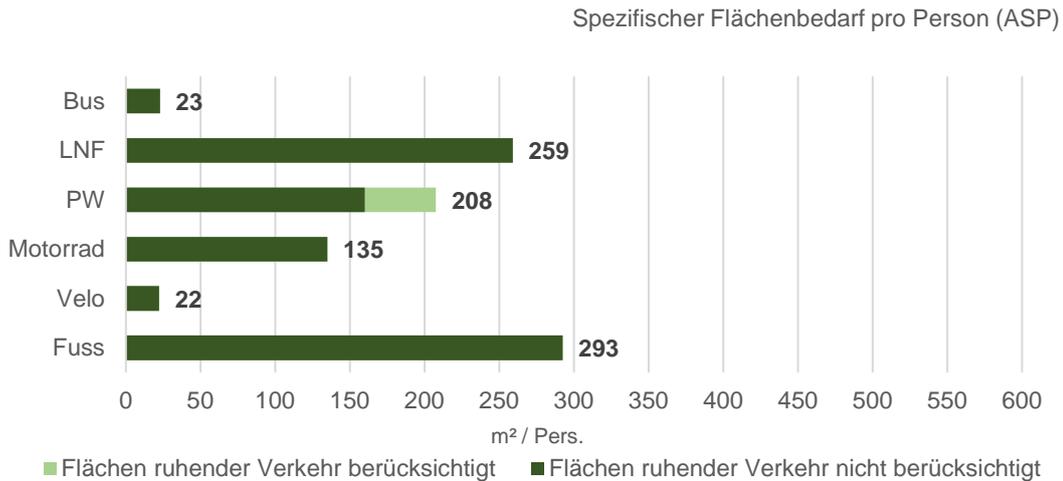


**Abb. 39** Personenfluss ASP und DWV, Fallbeispiel «Frick, Hauptstrasse».

Ein Vergleich zwischen dem hier berechneten Flächenbedarf pro Person und den Resultaten aus der Studie von EBP (Pers./(m\*min) zeigt grosse Unterschiede. In der Auswertung von EBP hat der Modus Personenwagen mit Abstand den grössten Personenfluss pro Meter und Minute. Der Wert für Busse und Velos ist viel tiefer (weniger effizient). Bei den zuvor präsentierten Resultaten ist die Flächeneffizienz des Velos und der Busse am grössten und die Personenwagen haben hingegen einen vergleichsweise hohen Flächenbedarf. Der

Grund für diese unterschiedlichen Ergebnisse liegt bei der Flächenallokation. Insbesondere dem Velo wird bei der vorliegenden Methode nur ein sehr kleiner Teil der Fahrbahfläche alloziert, da die Gebrauchsfläche und die Anzahl Fahrzeuge im Vergleich zum PW-Verkehr klein ist.

Die Längsparkfelder sind auf Strassenniveau markiert, jedoch wird aufgrund der lokalen Gegebenheit erwartet, dass die Fläche in Realität nicht vom Veloverkehr mitgenutzt werden kann. Bereits bei der Belegung durch einen Personenwagen bringt ein Überfahren der Parkfelder keinen Vorteil für Velofahrende. Entsprechend wird die gesamte Fläche von rund 80 m<sup>2</sup> dem ruhenden Personenwagenverkehr zugeordnet. Die zeigt die Resultate, wenn diese Fläche bei der Berechnung des Flächenbedarfs pro Person mitberücksichtigt wird.



**Abb. 40** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde unter Berücksichtigung der Flächen des ruhenden Verkehrs, Fallbeispiel «Frick Hauptstrasse».

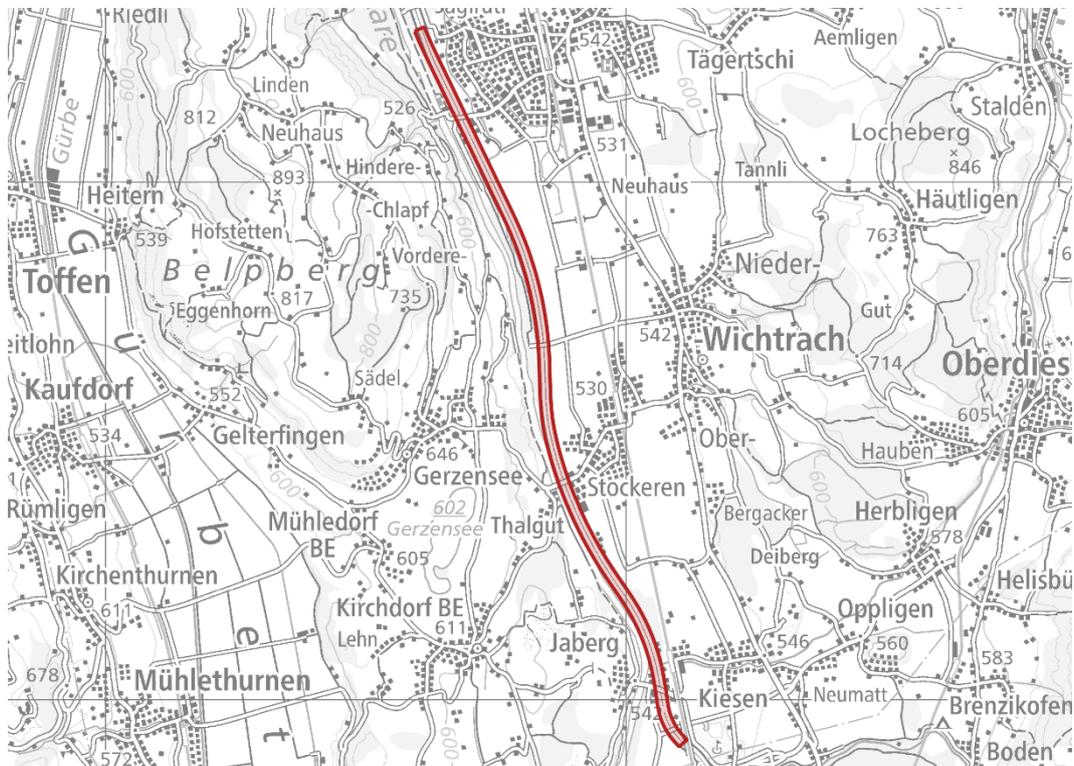
Der Flächenbedarf pro Person im PW-Verkehr nimmt um fast 50 m<sup>2</sup> oder fast 30% zu und beträgt damit rund 208 m<sup>2</sup>/Pers. Der Zuwachs unter Berücksichtigung des ruhenden Verkehrs ist somit bedeutend (und hier stärker als beim Fallbeispiel Basel, Feldbergstrasse). Auch in diesem Fallbeispiel wird die Parkplatzfläche vollständig dem Modus PW zugeordnet, da die Personenwagen weitaus den grössten Anteil am Verkehrsfluss aufweisen und keine detaillierten Zahlen zur Parkfeldnutzung vorliegen.

## 4.6 Fallbeispiel Münsingen Autobahn

### 4.6.1 Untersuchungsraum

Mit diesem Fallbeispiel wird der Autobahnabschnitt der A6 zwischen der Raststätte Münsingen und der Ausfahrt Kiesen untersucht. Der Perimeter umfasst die gesamte Strassenfläche inkl. Pannestreifen und Mittelleitplanke. Weitere Flächen, wie Fundamente von Beschilderungen oder Zäune und Lärmschutzwände werden nicht berücksichtigt. Auch Böschungen oder Aufschüttungen für Kunstbauten liegen ausserhalb des Perimeters.

Der gesamte gewählte Abschnitt weist zwei Fahrspuren pro Richtung und beidseitige Pannestreifen auf. Die beiden Richtungen werden nur mittels einer Leitplanke getrennt, d.h. es besteht eine durchgehende Asphaltfläche ohne Grünstreifen. Der gesamte Querschnitt hat eine Breite von rund 26 m. Innerhalb des untersuchten Raums befinden sich keine Auf- oder Abfahrten. D.h. gleich wie bei den anderen Fallbeispielen wird vereinfachend nur der Flächenverbrauch auf der Strecke ohne Knoten berechnet. Die verwendete Verkehrszählstelle befindet sich auf Höhe der Ortschaft Münsingen und umfasst beide Fahrtrichtungen. Innerhalb des gewählten Abschnitts können keine Fahrzeuge den Raum verlassen.



**Abb. 41** Perimeter Fallbeispiel Münsingen. Hintergrund: Landeskarte. Bundesamt für Landestopografie SWISSTOPO.

### 4.6.2 Datenverfügbarkeit und Erhebung

Die Infrastrukturdaten basieren auf der amtlichen Vermessung des Kantons Bern. Die gesamte als Strasse klassierte Fläche wird der Verkehrssituation Mischverkehr<sup>10</sup> zugeordnet, damit eine Flächenallokation zu den einzelnen Modi (PW, LNF, Motorrad und Schwerverkehr) möglich ist. Es ist keine weitere Unterscheidung von Situationen erforderlich.

<sup>10</sup> Das ist methodisch bzgl. der Modi-Differenzierung innerhalb des MIV zu verstehen und nicht planerisch, d.h. mit 'echten' Mischverkehrszonen' im untergeordneten Netz.

Als Datenquelle für den Verkehrsfluss wurde die Verkehrszählung des ASTRA verwendet. In den verfügbaren Daten ist der Spitzenstunden- und Werktagesverkehr angegeben. Die einzelnen Modi werden jedoch nicht separat ausgewiesen, lediglich der Schwerverkehrsanteil (Busse und Lastwagen) war bekannt. Der Schwerverkehr wird nur für die Flächenallokation benötigt, es wird aber im Rahmen dieses Forschungsprojekts kein spezifischer Personenfluss ausgewiesen. Damit dieses Fallbeispiel mit den anderen Beispielen verglichen werden kann, musste die gezählte Anzahl Fahrzeuge (exkl. Schwerverkehr) auf die Modi (Motorrad, Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge) aufgeteilt werden. Hierzu wurde der Schweizer Flottenmix aus dem bereits für die Fahrzeuggrössen verwendeten Forschungsprojekt<sup>11</sup> herangezogen. Die dort verwendeten Zahlen stammen aus dem Jahr 2014. Die Fahrten wurden somit im Verhältnis zum Anteil Fahrzeuge pro Modus in der Flotte aufgeteilt, was einer groben Annäherung an den effektiven Modalsplit auf der Autobahn entspricht.

Die Zählstelle liefert keine Daten zur gefahrenen Geschwindigkeit, weshalb auch hierfür auf eine andere Quelle ausgewichen werden musste. Gemäss Q-V-Diagramm aus der VSS-Norm 40018a, liegt bei einer Verkehrsbelastung von rund 2'800 Fz/h pro Richtung<sup>12</sup> die Geschwindigkeit noch bei 120 km/h, es kann also noch von einem freien Verkehrsfluss ausgegangen werden. Die Durchschnittsgeschwindigkeit liegt trotzdem leicht darunter und unterscheidet sich je nach Modus. Deshalb wurde die mittlere gefahrene Geschwindigkeit gemäss dem Pilotprojekt zur Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens von Motorfahrzeuglenkenden der BFU<sup>13</sup> verwendet. In der genannten Untersuchung werden nur die Fahrzeugarten: «leichter Motorwagen», «Motorrad» und «schwerer Motorwagen» unterschieden, weshalb für Personen- und Lieferwagen die Geschwindigkeit der leichten Motorwagen verwendet wurde. Folgend sind die unterschiedlichen Geschwindigkeiten aufgelistet:

- PW + LNF: 112.4 km/h
- Motorrad: 113.4 km/h
- Schwerverkehr: 87.0 km/h

Die Besetzungsgrade und Fahrzeugabmessungen sind gegenüber den Fallbeispielen in Basel unverändert.

### 4.6.3 Datenaufbereitung

Bevor die Inputdaten für die Berechnungen im Modell eingesetzt werden konnten, mussten diese aufbereitet werden. Diese Datenaufbereitung umfasste im Wesentlichen die folgenden zwei Arbeitsschritte:

- Zusammenfügen der Teilflächen und berechnen der gesamten Infrastrukturfläche mittels GIS;
- Aufteilen des Verkehrsflusses auf die Modi: Personenwagen, Motorrad und Lieferwagen anhand der Schweizer Flotte im Jahr 2014.

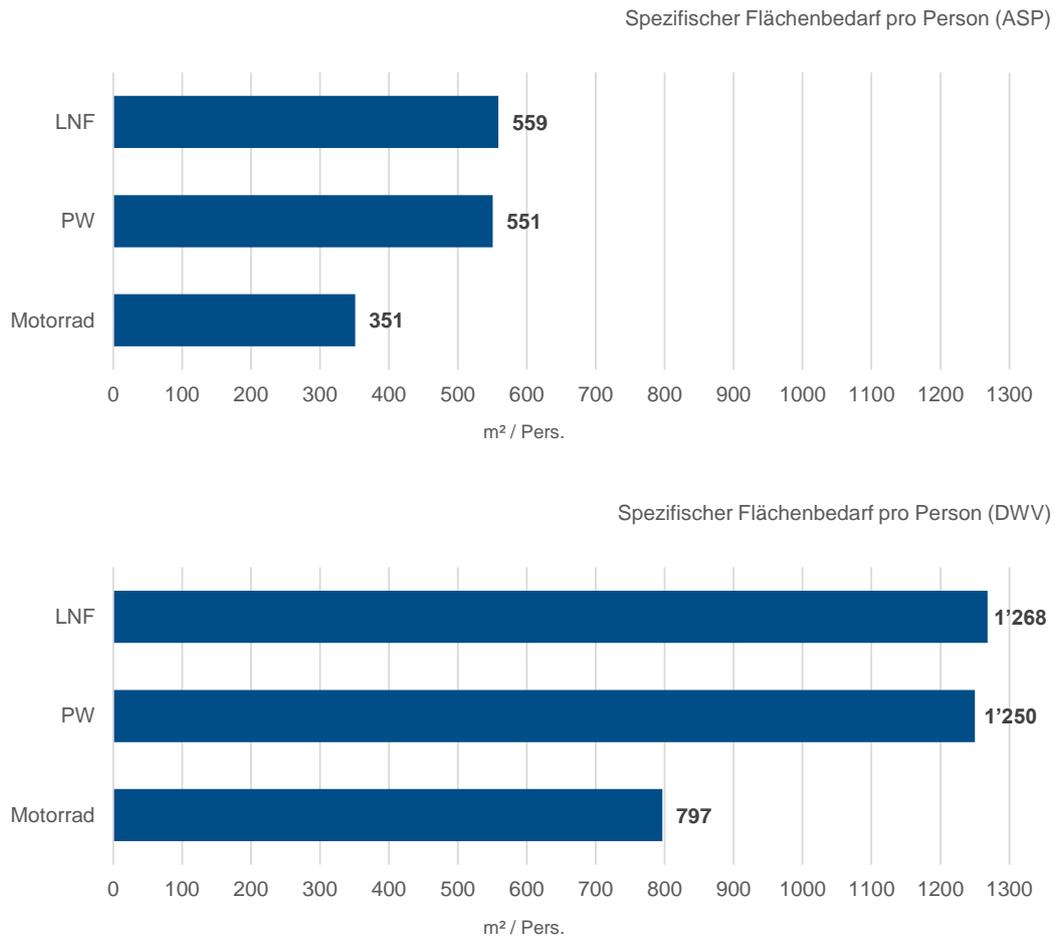
Die Aufbereitung der restlichen Inputdaten erfolgte analog dem Fallbeispiel Feldbergstrasse.

<sup>11</sup>Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „Geometrie des Fahrzeugparks der Schweiz“, Forschungsprojekt VSS 2011/203

<sup>12</sup> In den verwendeten Daten der Verkehrsmessstelle des ASTRA ist der Verkehrsfluss nicht richtungstrennend ausgewiesen. Als Näherung wurde deshalb der Verkehrsfluss im Querschnitt anteilmässig auf die beiden Richtungen aufgeteilt. Der Anteil Fahrzeuge pro Richtung wurde aus den Zählwerten der Zählstelle Allmendingen (BE093) auf der Kantonsstrasse im gleichen Korridor Bern-Thun ermittelt.

<sup>13</sup>Beratungsstelle für Unfallverhütung BFU (2020), „Geschwindigkeit auf Schweizer Strassen“, Pilotprojekt zur Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens von Motorfahrzeuglenkenden, Bern.

#### 4.6.4 Resultate



**Abb. 42** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde und des durchschnittlichen Werktags, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn».

Das Fallbeispiel der Autobahn bei Münsingen wurde für den Zeitraum Abendspitzenstunde und Werktagverkehr ausgewertet. Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurden nur die Modi LNF, PW, Motorrad und Schwerverkehr (LKW und Reisebusse) differenziert. Für den Schwerverkehr wird kein spezifischer Flächenbedarf pro Person ausgewiesen.

Auch in dieser Situation zeigt sich, dass der spezifische Flächenbedarf von PW (559 m<sup>2</sup>/Pers. ASP) und LNF (551 m<sup>2</sup>/Pers. ASP) nahe beieinander liegen. Dem Motorrad wird aufgrund der kleineren Grundfläche weniger Fläche alloziert, was sich positiv auf den spezifischen Flächenbedarf auswirkt (351 m<sup>2</sup>/Pers.). Dem Schwerverkehr wird aufgrund des sehr tiefen Verkehrsflusses am wenigsten Fläche zugewiesen.

Im Vergleich zu den anderen Fallbeispielen zeigt sich, dass die Flächeneffizienz in der untersuchten Autobahnsituation tief ist. Dies erscheint bei Betrachtung des Verkehrsflusses plausibel, da der untersuchte Abschnitt auch in der Abendspitzenstunde nicht annähernd den Richtwert für die maximale Leistungsfähigkeit von 4'000 Fz./h pro Richtung gemäss VSS 40018a erreicht.

Wie erwartet, ist auch in diesem Fallbeispiel der Flächenbedarf bei einer Werktagbetrachtung wesentlich höher als in der Abendspitzenstunde. Mit dem Faktor 2.2 bei allen Modi ist der Unterschied wenig grösser als bei den Fallbeispielen im Innerortsbereich.

## 4.7 Vergleich der Fallbeispiele

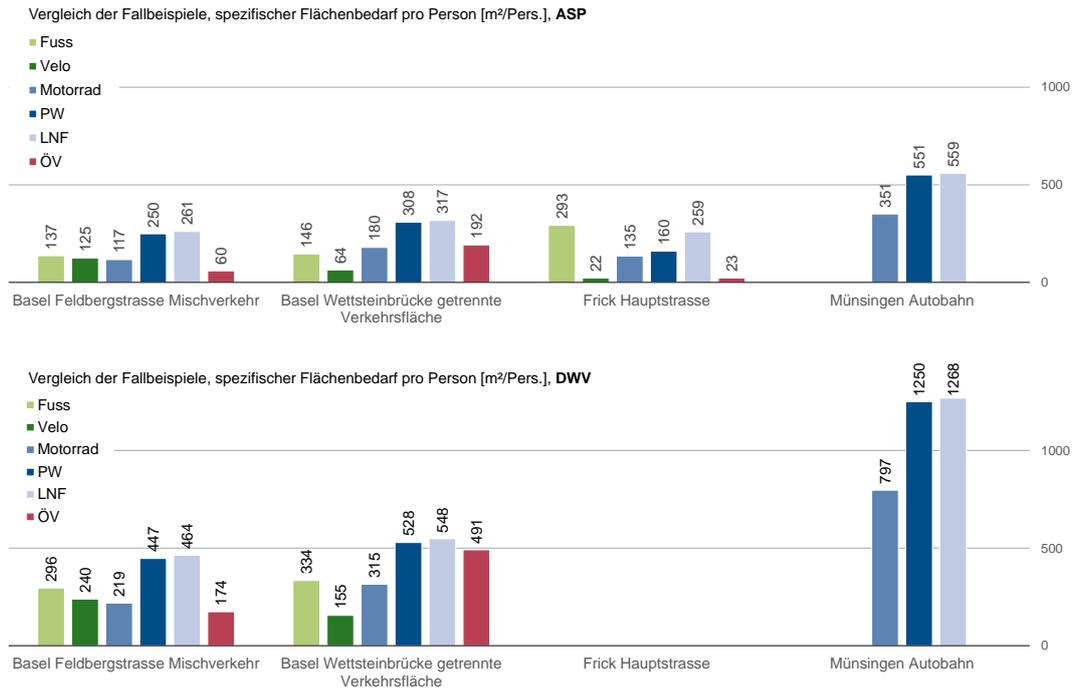
Eine zentrale Grösse ist die relative Verteilung der Fahrten bzw. beförderte Personen pro Verkehrsmittel und Fortbewegungsart. Folgende Tabelle gibt dazu die Übersicht.

**Tab. 3 Fahrzeug- und Personenaufkommen pro Querschnitt je Fallbeispiel**

		Basel Feldberg- strasse (DWV)	Basel Wettsteinbrücke (DWV)	Frick Hauptstrasse (ASP)	Münsingen Auto- bahn (DWV)
Total [#]	Fz	19'391	21'823	1'168	51'556
	Pers	27'347	36'869	1'997	54'294
PW [%]	Fz	53	44	85	79
	Pers	42	29	77	83
LNF [%]	Fz	7	5	6	6
	Pers	5	3	3	6
Motorrad [%]	Fz	4	3	1	12
	Pers	3	2	0	11
ÖV [%]	Fz	2	2	1	0
	Pers	27	40	15	0
Velo [%]	Fz	22	35	1	0
	Pers	15	21	1	0
Fussver- kehr [%]	Fz	11	10	6	0
	Pers	8	6	3	0
LKW [%]	Fz	1	1	1	3
	Pers	0	0	0	0

Den grössten Unterschied zwischen Anzahl Fahrzeugen und Anzahl Personen ist erwartungsgemäss beim ÖV zu finden. Das Verhältnis basiert hier auf Zählraten. Bei den anderen Verkehrsmitteln kommen Annahmen zum Besetzungsgrad zum Einsatz, die sich am Mikrozensus orientieren. Die Autobahn als separate Infrastruktur hat ihren eigenen Modalsplit. Bei den drei Fallbeispielen, bei denen sämtliche Verkehrsmittel und Fortbewegungsarten zugelassen sind, handelt es sich jeweils um Hauptstrassen – zwei Mal im urbanen Raum und ein Mal im eher ländlichen Raum. Während der Fussverkehr sowie der ÖV bezüglich Fahrzeuge vergleichbare Werte aufweist, liegen die Werte beim MIV, Velo sowie ÖV bezüglich beförderter Personen stark auseinander.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Resultate für die Abendspitzenstunde und einen durchschnittlichen Werktag der vier Fallbeispiele im Vergleich.

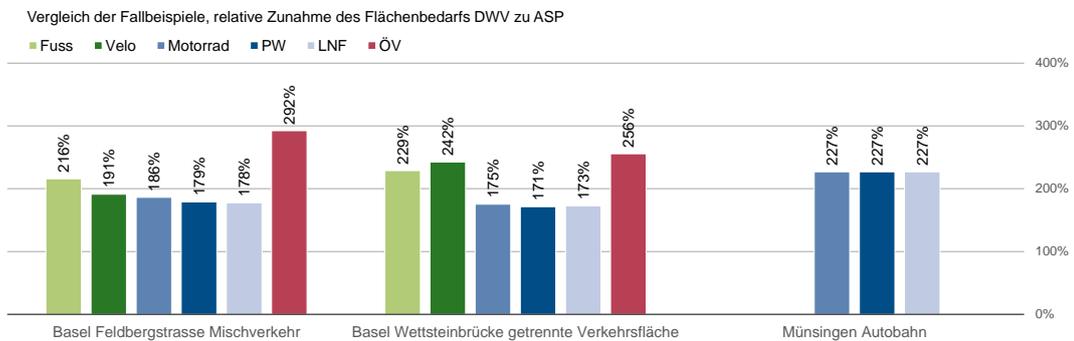


**Abb. 43** Vergleich des spezifischen Flächenbedarfs pro Person je Fallbeispiel und Modus während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde (oben) sowie durchschnittlichen Werktags (unten).

#### Erkenntnisse:

- Der Flächenverbrauch ist in der Spitzenstunde tiefer als im Durchschnittsverkehr. Dies ist aufgrund der höheren Ausnutzung der Infrastruktur nachvollziehbar.
- Der Flächenbedarf Fussverkehr verglichen mit ÖV und Velo ist bei allen Fallbeispielen hoch. Grund ist die grosse Infrastrukturfläche, die von nur wenigen Personen genutzt wird. Anhand dieser Beispiele ist jedoch kein Schluss auf die mögliche, optimale Flächeneffizienz des Fussverkehrs möglich, da bei keinem Beispiel eine hohe Fussverkehrsdichte vorliegt.
- Verkehren Busse oder Velos im Mischverkehr, ist der spezifische Flächenbedarf pro Person vergleichsweise klein (siehe v.a. Fallbeispiel Frick). Diesen Modi wird bei der Flächenallokation ein kleinerer Teil der Fläche zugewiesen, da hier der Verkehrsfluss der Personenwagen deutlich grösser ist.
- Bei der Nutzung der Busspur durch Velos, wird das Velo ineffizienter (siehe Fallbeispiel Feldbergstrasse). Dies bildet dennoch eine realistische Situation ab, denn eine Busspur ist eine breite, grosszügige Fläche für Velofahrende.
- Eigentrassierungen sind gemäss dieser Auswertung nur dann flächeneffizient, wenn auch eine grosse ÖV-Nachfrage (dichter Takt und hohe Auslastung) vorhanden ist. Neben den Flächenverbrauch gibt es jedoch zahlreiche weitere verkehrsplanerische Argumente, die für oder gegen eine Eigentrassierung sprechen können (Stichwort: zuverlässiger Betrieb auf neuralgischen Abschnitten, siehe auch Kapitel 5).
- Die LNF haben einen leicht höheren Flächenbedarf pro Person als die Personenwagen, was aufgrund der grösseren Gebrauchsfläche plausibel erscheint. Falls leichte Nutzfahrzeuge primär für Personen- und nicht Warentransport eingesetzt werden, müsste ein höherer Besetzungsgrad angenommen werden, wodurch die Flächeneffizienz wiederum verbessert würde.
- Der Flächenbedarf beim MIV ist im Fallbeispiel Autobahn am grössten. Das Ausmass mag auf den ersten Blick erstaunen, wenn man an die recht hohen Auslastungen denkt. Im Vergleich zu städtischen Strassenquerschnitten sind die Strassenbreiten (inklusive Sicherheit/Pannestreifen) aber grösser und somit der spezifische Flächenbedarf grösser. Zudem werden die Flächen nicht mit ÖV, Fuss- und Veloverkehr geteilt.

Die relative Veränderung des Flächenbedarfs pro Person von der DWV- zur ASP-Betrachtung liegt bei allen Fallbeispielen zwischen 171% und 292% (vergl. Abb. 44). Beim Fallbeispiel Autobahn verändern sich die unterschiedlichen Modi gleichmässig, da im vorliegenden Fallbeispiel während der Spitzenstunde und des Werktags der gleiche Modalsplit und die gleiche Geschwindigkeit angenommen wurde. Bei den anderen beiden Fallbeispielen ist gut ersichtlich, wie vor allem der ÖV und der Fussverkehr in der Tagesbetrachtung weniger effizient sind. Dies ist auf den deutlich reduzierten Personenfluss beim ÖV während den nächtlichen Stunden zurückzuführen. Beim Velo ist der gleiche Effekt erkennbar, beim Fallbeispiel Feldbergstrasse allerdings weniger ausgeprägt als auf der Wettsteinbrücke. Der Grund hierfür liegt bei der Busspur mit Velonutzung. Das Verkehrsaufkommen des Busses ist im Vergleich zum Velo während des Tages recht konstant. Über den ganzen Tag betrachtet, nimmt jedoch der Besetzungsgrad des Busses ab, während dieser beim Velo konstant bleibt (1 Pers/Fz.). Somit ist das Verhältnis zwischen allozierter Fläche und transportierten Personen ausserhalb der Spitzenstunde beim Bus schlechter als beim Velo. Im Fallbeispiel Wettsteinbrücke kann dieser Effekt nicht beobachtet werden, da keine Flächenallokation zwischen Bus und Velo erfolgt. Beim MIV ist die Veränderung am kleinsten, passend zur vergleichsweise flachen Tagesganglinie.



**Abb. 44** Vergleich der relativen Veränderung des spezifischen Flächenbedarfs pro Person bei der Betrachtung von ASP und DWV je Fallbeispiel und Modus.



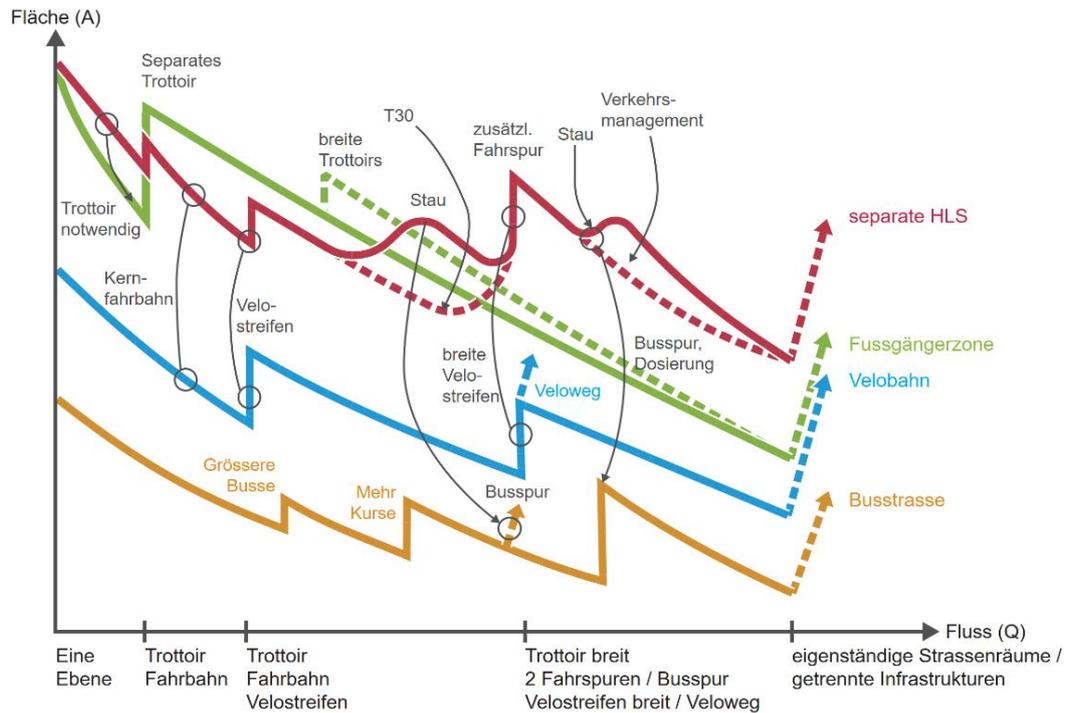
## 5 Methodische Varianten und Sensitivitätsüberlegungen

### 5.1 Variationen Modul 1: Flächenallokation anhand verkehrsplanerischer Abhängigkeiten und Abwägungen

In Kapitel 3 wird dargelegt, nach welchen Regeln die Flächen den einzelnen Verkehrsmitteln zugeordnet werden. Der gewählte Ansatz folgt einer «momentan-beschreibende» Logik: D.h. die für bestimmte Verkehrsmittel und Fortbewegungsarten vorgesehene und auch so bezeichnete (markierte oder signalisierte) Fläche wird zugeordnet.

Eine andere Herangehensweise ist die Beantwortung der Frage, **warum** die aktuelle Strassenraumgestaltung – das heisst die Flächenaufteilung – so definiert wurde, wie sie anzutreffen ist. Dieser Zugang geht davon aus, dass die aktuelle Strassenraumgestaltung das Resultat verkehrsplanerischer Überlegungen und Abwägungen (Normen und Ansprüche) ist und die Zusammenhänge und Prioritäten der Entscheidungstragenden widerspiegelt. Die Organisation und Gestaltung des Strassenraums kann sich im Zusammenspiel zwischen Verkehrsgeschehen sowie sich ändernden gesellschaftlichen und planerischen Ansprüchen wandeln. Die Flächenallokation kann folglich auch basierend auf den Zusammenhängen im Sinn von Ursache (Notwendigkeit) und Resultat (Gestaltung) vorgenommen werden. Verkehrstechnische Rahmenbedingungen sind dabei zentral. Konkretes Beispiel: Die Dimensionierung einer Fahrspur hängt nicht nur von den eigentlichen Fahrzeugdimensionen selbst ab, sondern auch von Sicherheitsansprüchen und Normen/Richtlinien. Diese wiederum stehen in direkter Abhängigkeit zur Höchstgeschwindigkeit, dem Verkehrsaufkommen und der Führungsform und basieren beispielsweise auf empirischen Erfahrungen wie Konfliktwahrscheinlichkeit oder Verkehrsfluss.

Vereinfacht gesagt hängt die Aufteilung des Strassenraums von den vorhandenen und dominanten Modi sowie dem Verkehrsaufkommen je Modi ab. Stellschrauben sind die Flächenaufteilung (Führungsform) und betriebliche Massnahmen (z. B. signalisierte Höchstgeschwindigkeit). Die verschiedenen Modi stehen in direkter Abhängigkeit zueinander. Die notwendigen Flächen je Verkehrsmittel und Fortbewegungsart werden nicht nur durch die Anforderungen des jeweiligen Verkehrsmittels selbst definiert, sondern auch durch die anderen Verkehrsmittel beeinflusst. Gewisse Infrastrukturen wären per se für ein Verkehrsmittel nicht notwendig, sondern werden nur aufgrund eines anderen erforderlich. Die folgende Abbildung veranschaulicht vereinfacht und schematisch die Abhängigkeiten untereinander. Vor diesem Hintergrund ist eine Flächenallokation nach «fotografischer» Logik nicht unbedingt logisch, sondern könnte auch dem ursächlichen Modus angerechnet werden.



**Abb. 45** Y-Achse: Flächenbedarf pro Person, X-Achse: Verkehrsfluss; rot: MIV, grün: Fussverkehr, blau: Velo, orange: Bus; gestrichelt: mögliche alternative Verläufe; schwarze Linien und Pfeile: typische Abhängigkeiten; schematische Prinzipien-darstellung, keine Aussage zu Einzelfällen möglich.

Mit zunehmendem Verkehrsaufkommen nehmen in der Regel die **Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmenden** zu: Bspw. nimmt bei steigendem MIV-Aufkommen der Verkehrsfluss laufend ab, der Verkehr gerät ins Stocken und Linienbusse werden ebenfalls beeinträchtigt. Um dem entgegenzuwirken, gibt es verschiedene Möglichkeiten: Entflechtung mittels spezieller Spuren/Flächen; Steuerungsmassnahmen, beispielsweise durch eine Geschwindigkeitsreduktion von 50 auf 30 km/h; Kapazitätsausbau; gänzlich separierte Infrastruktur, etc. Einige Ansätze wirken sich sofort auf den Flächenbedarf pro Person aus, andere sind nur marginal flächenrelevant. Wird beispielsweise eine zweite Fahrspur gebaut, steigt der Flächenbedarf pro Fahrzeug/Person sprunghaft an. In diesem komplexen System stellt sich die Frage nach der in dieser Logik «korrekten» Flächenzuordnung, dazu folgende zwei Beispiele:

**Beispiel 1:** Warum braucht es eine Busspur? In der Regel, weil das MIV-Aufkommen zu hoch ist und es zu Stausituationen kommt. Ein Bus könnte grundsätzlich rein verkehrstechnisch gesehen auf derselben Fahrspur wie der MIV verkehren, wodurch er aber ebenfalls im Stau stünde. Für ein funktionierendes und attraktives ÖV-System ist auf stauanfälligen Abschnitten eine Busspur notwendig, in diesem Fall verursacht durch den MIV. Welchem Verkehrsmittel ist nun die Fläche der Busspur zuzuordnen, dem Bus (Benutzer) oder dem MIV (eigentlicher Verursacher)?

**Beispiel 2:** Warum braucht es Velostreifen? Zudem werden Velostreifen vermehrt mit 1.80 m oder mehr markiert, obwohl das Lichttraumprofil von Velofahrenden geringer ist. Die breiteren Velostreifen dienen der Erhöhung der Sicherheit und des Komforts der Velofahrenden. Dabei geht es um die Sicherheit *vor* und den Komfort *gegenüber* dem Auto, Bus, Lastwagen oder Lieferwagen, die in den letzten Jahren immer schwerer, breiter und länger wurden. Je grösser der Geschwindigkeitsunterschied zwischen Velo und Auto, je höher der Verkehrsfluss der Autos und je schwieriger der Strassenraum (z. Bsp. Übersichtlichkeit), umso wahrscheinlicher ist das Anbringen eines Velostreifens (oder wo räumlich möglich eines separaten Veloweges). Dadurch sinkt per se die Flächeneffizienz des Veloverkehrs. Wird der Velostreifen zu Lasten der MIV-Fahrspurbreite verbreitert (Kernfahrbahn)

und letztere verschmälert, steigt rechnerisch die Flächeneffizienz des MIV, obwohl die Flächenzuordnung primär aus Sicherheitsüberlegungen, ausgelöst durch den MIV, geändert wird. Zudem dürfen Velostreifen vom MIV überfahren werden. Welchem Verkehrsmittel ist nun die Fläche des Velostreifens zuzuordnen, dem Velo (Benutzer) oder dem MIV (eigentlicher Verursacher)?

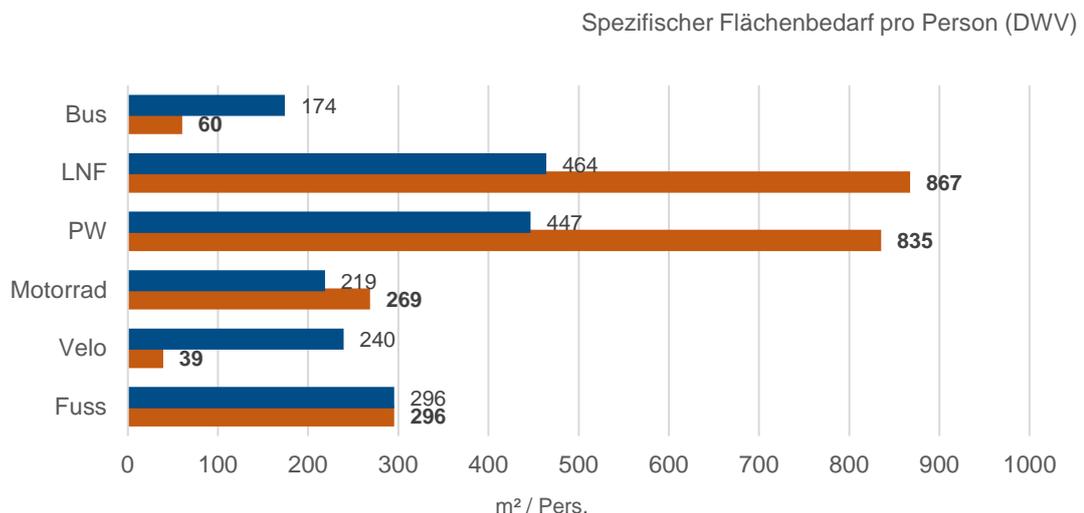
Konsequenterweise könnte neben der Fahrbahn der komplette Strassenraum betrachtet werden und nach analoger Logik neu aufgeteilt werden. Gemäss Überlegungen in *Abb. 45* würde z.B. auch die Frage nach der Ursache für das Vorhandensein von Trottoirs aufgeworfen. Auf diesen Schritt wird in der nachfolgenden Variante verzichtet, da sich diese Forschungsarbeit auf das besiedelte Gebiet, mit Fokus urbanisierter Raum, beschränkt. Dort sind Trottoirs im Gegensatz zu Überlandstrassen oder Nebenstrassen in Dörfern Standard und werden auch aus diversen, nicht verkehrlich-motivierten Gründen erstellt.

### Variante Modul 1: Fallbeispiel Basel Feldbergstrasse

Die obigen Ausführungen zeigen, dass eine Flächenallokation nach der Warum-Frage sehr komplex wird und eine Rechtfertigung nötig macht. Um eine alternative Logik im Modul 1 zumindest zu illustrieren, wird vor dem Hintergrund der Ausführungen oben bei den zwei Situationen Busspur und Velostreifen diese Flächen zwischen sämtlichen Verkehrsmitteln auf der Fahrbahn, die sich gegenseitig behindern können, anteilig ihres Verkehrsflusses verteilt. Damit soll geprüft werden, wie stark sich eine solche Variante auf das Resultat auswirkt. Konkret heisst das für:

- Busspur: Die Fläche Busspur (bisher zu 100% ÖV) wird anteilig zum Verkehrsfluss (Anzahl Fahrzeuge) zwischen Bus, PW, LFN, Motorrad und LKW aufgeteilt. Sämtliche anderen Parameter und Variablen des Modells bleiben unverändert.
- Velostreifen: Die Fläche Velostreifen (bisher 100% Velo) wird anteilig zum Verkehrsfluss (Anzahl Fahrzeuge) zwischen Velo, Bus, PW, LFN und LKW aufgeteilt. Sämtliche andere Parameter und Variablen des Modells bleiben unverändert.

Wendet man diese alternativen Flächenzuweisungen für das Fallbeispiel Basel Feldbergstrasse an, verändern sich die Resultate merklich, wie *Abb. 46* zeigt.



**Abb. 46** Spezifischer Flächenbedarf pro Person während des durchschnittlichen Werktags, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse»: in blau die Resultate nach bisheriger Methode und in orange nach alternativer Flächenallokation.

Wie zu erwarten war, profitieren die zwei Modi Bus und vor allem Velo deutlich von dieser Flächenzuordnung. Neu ist das Velo das flächeneffizienteste Verkehrsmittel. Deutlich mehr Fläche pro Person fallen so bei den LNf und PWs an. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass sie neu den Grossteil der Fläche der Bus-/Velospur übernehmen 'müssen'. Davon

profitiert das Velo überproportional, da die Bus-/Velospur für das Velo eigentlich stark überdimensioniert ist. Der Bus profitiert jedoch auch; dies vor allem weil die Fahrzeugfrequenz – trotz grösserer Fahrzeuggrundfläche gegenüber PW/LNF – substanzuell geringer ist. Die Veränderung beim Motorrad ist gering. Beim Fussverkehr gibt es keine Veränderung, weil sich die alternative Flächenzuweisung nur auf die Fahrbahn bezieht und nur dort Veränderungen bringt.

Der Nachteil dieser alternativen methodischen Herangehensweise ist die grosse Bandbreite möglicher Annahmen aufgrund komplexer Verursacher-Wirkungs-Zusammenhänge gemäss *Abb. 45*. Eine wertneutrale Flächenallokation ist kaum möglich. Zudem sind diese Zusammenhänge wiederum stark ortsabhängig und eine Standardisierung der Methodik schwierig.

### Variante Modul 1: Berücksichtigung weiterer (ohnehin-)Flächen

Wie in den Systemabgrenzungen in Kapitel 3.3.2 dargelegt fokussiert die vorliegende Methodik auf die während der Verkehrsteilnahme direkt genutzten Verkehrsflächen. Für die Nutzung der Verkehrsmittel sind jedoch verschiedene weitere Flächen notwendig; im MIV bspw. Parkplätze am Wohnort, Garagen für Services, spezielle Flächen für öffentliche Dienste etc.; im ÖV z.B. Tram- und Busdepots und im Veloverkehr z.B. Velostationen an Bahnhöfen. Die Schwierigkeit bei diesen weiteren Flächen ist die Allokation auf den zu untersuchenden Strassenquerschnitt  $xy$ . Die Fläche eines Parkplatzes am Wohnort müsste z.B. über Anteile der Gesamtverkehrsleistung eines PW an der Länge des untersuchten Querschnitts zugeordnet werden. Je kleiner der Untersuchungsraum ist, umso theoretischer wären solche Annahmen. Deshalb wurde an dieser Stelle darauf verzichtet. Für ein Flächenverbrauchsmodell mit grösseren Systemgrenzen (z.B. ganze Stadt, Kanton oder gar Schweiz) könnten solche Flächen besser geschätzt bzw. anteilmässig auf die Gesamtverkehrsleistungen übertragen werden.

Noch schwieriger ist die Flächenallokation bezüglich der Frage, welche Strassenflächen auch ohne Personenverkehrsaufkommen nötig wären. Hier denken wir insbesondere an öffentliche Dienste wie Feuerwehr, Sanität, Polizei, o.ä., welche einen Siedlungsraum zwingend erreichen müssen. Auch diese Flächenzuordnung wäre für einen spezifischen Querschnitt recht theoretisch: Ein Strassennetz nur für solche Dienste wäre mutmasslich viel weniger feinmaschig als das bestehende Schweizer Strassennetz.

## 5.2 Illustrative Sensitivitätsüberlegungen

Bei den im Kapitel 4 untersuchten Fallbeispielen handelt es sich um konkrete Einzelsituationen. Diese wurden zwar möglichst repräsentativ für die Verkehrssituationen in der Schweiz ausgewählt, sie berücksichtigen aber ortsspezifische Gegebenheiten wie Platzverhältnisse oder das lokale Verkehrsaufkommen, wodurch die einzelnen Flächen gegenüber dem tatsächlichen Verkehrsaufkommen zu knapp oder zu gross dimensioniert sein können oder das Verkehrsaufkommen durch vorgelagerte Situationen beeinflusst wird, was wiederum das Resultat auf den untersuchten Abschnitten beeinflussen kann.

Ziel dieses Unterkapitels ist es, einen **ersten Schritt zu einer Verallgemeinerung** der Werte zu versuchen. Dazu wird für einen typischen Querschnitt die Gesamtnachfrage in Personen/Querschnitt und Tag zwischen 1'000 und 50'000 variiert sowie auf zwei Modal Split angewendet. Mit diesem Ansatz wird der standardisierte Querschnitt (Aufteilung Strassenraum) als fix angenommen, ebenso die Methode zur Flächenallokation je Verkehrsmittel (gemäss Kap. 3, ohne MFD). Variabel hingegen ist das Verkehrsaufkommen und der Modalsplit. Die so zu beobachtenden Tendenzen geben Auskunft über die Funktionsweise der Methode (Sensitivität) und ergeben erste Hinweise zu allgemeinen Zusammenhängen.

Als Beispiel wird eine Hauptverkehrsstrasse mit je Richtung einem Trottoir, Velostreifen, MIV-Spur sowie Eigentrasse für den ÖV gemäss folgender Übersicht als Basis genommen

(vgl. Abb. 49 im Anhang IV für weitere mögliche Querschnitte). Dieser Typ kommt häufig vor, sowohl im ländlichen wie auch im urbanen Raum.

HVS mit Tram / Bus in Mittellage oder ÖV-Eigenstrasse							
Trottoir (2.00m)	Velo (1.50m)	MIV-Spur (3.25m)	ÖV (3.00m)	ÖV (3.00m)	MIV-Spur (3.25m)	Velo (1.50m)	Trottoir (2.00m)
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 20m</b>							

**Abb. 47** Typisches Querschnittsprofil für HVS mit Tram / Bus.

Die Bandbreite an möglichen Verkehrsaufkommen stützt sich auf folgende Eckwerte:

- Verkehrsaufkommen (in total Fahrzeugen bzw. beim Fussverkehr Personen pro Querschnitt und Tag): 1'000, 10'000, 20'000 und 50'000
- Relative Verteilung der Fahrzeuge (% Fahrzeuge am Gesamtaufkommen Fahrzeuge – beim Fussverkehr Personen): Wobei die Verteilung gemäss den Fallbeispielen Basel-Wettsteinbrücke und Frick gewählt wurde.

Mit dieser Wahl ist einerseits die Bandbreite an einem möglichen Verkehrsaufkommen sowie die in dieser Arbeit angetroffenen Extreme bezüglich Modalsplit abgedeckt. Für jede Kombination zwischen Verkehrsaufkommen und relativer Verteilung Fahrzeuge wird der entsprechende Wert für diesen Querschnitt berechnet; sämtliche Annahmen der Methode (Besetzungsgrad, Abstände, Sicherheitszuschläge etc.) sind für jede Kombination konstant gemäss Methode übernommen. Mit diesen sehr statischen Annahmen ergeben sich folgende Flächenverbrauchskennziffern:

- Modal Split [Personen] Wettsteinbrücke (PW 29% / ÖV 40% / Velo 21%):  
Der Flächenverbrauch des PW variiert zwischen 10'622 m<sup>2</sup>/Person (bei DTV 1000) und 212 m<sup>2</sup>/Person (bei DTV 50'000), im ÖV zwischen 9671 und 193 m<sup>2</sup>/Person und im Veloverkehr zwischen 2655 und 53 m<sup>2</sup>/Person.
- Modal Split [Personen] Frick (PW 77% / ÖV 15% / Velo 1%):  
Hier ergeben sich Bandbreiten beim PW von 5972 (bei DTV 1000) und 119 m<sup>2</sup>/Person; im ÖV zwischen 25'744 und 515 m<sup>2</sup>/Person und im Veloverkehr zwischen 72'883 und 1458 m<sup>2</sup>/Person.

In dieser illustrativen Sensitivität zeigen sich folgende Eigenschaften:

- Der Modalsplit hat einen sehr starken Einfluss auf den spezifischen Flächenbedarf je Verkehrsmittel. Je höher der Anteil des Verkehrsmittels an den Gesamtfahrten, umso tiefer dessen relativen «Fussabdruck» pro Fahrt.
- Mit steigender Gesamtnachfrage geht der spezifische Flächenbedarf für alle Verkehrsmittel stark zurück («Infrastruktur-Effizienz»).
- Die relativen Anteile sind konstant. Hier schlägt sich der als fix modellierte Querschnitt durch.
- Diese Sensitivitätsrechnung basiert jedoch auf konstanten Geschwindigkeiten und Abständen. Die Veränderung in der Gesamtnachfrage schlägt sich darum linear auf die Resultate (Fläche/Person) in absoluten Zahlen durch. Die relativen Anteile (Fläche/Person je Verkehrsmittel an der Summe Flächen/Person aller Verkehrsmittel) bleibt konstant.

Zudem zeigen sich in der Auswertung folgende erste allgemeine Aussagen zum spezifischen Flächenverbrauch je Verkehrsmittel und Fortbewegungsart:

- Der Modalsplit ist die zentrale Grösse, die darüber entscheidet, wie flächeneffizient die Verkehrsmittel und Fortbewegungsarten je beförderte Person abschneiden.
- Bei Infrastrukturen mit primär entflehteten Flächen wie hier ist das Verkehrsaufkommen alles entscheidend. Dieses ist abhängig vom Gesamtverkehrsaufkommen und dem Modalsplit.

- Typische Werte je Verkehrsmittel oder Strassenquerschnitt sind, basierend auf diesem statischen (Tisch-)Modell, kaum zu generieren. Die Bandbreiten sind gross und die Unterschiede, beispielsweise bei Veränderung des Modalsplit, sind gross.
- Die gefahrene Geschwindigkeit (hier konstante Annahmen) wirkt sich bemerkbar aus. Die eigentliche Interaktion in Abhängigkeit des Modalsplits sowie dem Gesamtverkehrsaufkommen kann jedoch nicht beurteilt werden.
- Überdimensionierte Verkehrsinfrastruktur, etwa auf die Spitze ausgerichtet, bedeutet überproportional grossen Flächenbedarf.

D.h. letztlich, dass die Methode zwar sehr differenziert ist und für die Beschreibung einer konkreten Momentaufnahme realistische Flächenverbräuche wiedergibt. Eine Simulation von veränderten Situationen hat mit dem vorliegenden (Tisch-)Modell jedoch starke Grenzen. Dazu müsste die Methode als automatisiertes Skript (statt Excel-Tischmodell) aufbereitet sein,

- so dass inkrementell Nachfrage und Modalsplit verändert werden können.
- so dass mit jedem typischen Querschnitt sämtliche mögliche Kombinationen aus Nachfrage und Modalsplit berechnet werden können.
- so dass jeweils parallel dazu via typische Kurve des Fundamentaldiagramms (Zusammenhang Dichte, Fluss, Geschwindigkeit) die passenden Werte zu Abständen usw. dynamisch in die Methode einfließen können.

Resultat eines solchen Vorgehens wären statt einzelner Resultatpunkte je Querschnitt Resultatoberflächen (Umhüllende analog den Resultaten multimodaler MFDs). Mittels einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der zentralen Einflussgrössen Querschnittsgestaltung, signalisierte Höchstgeschwindigkeit, Modalsplit sowie Gesamtverkehrsaufkommen könnten so wahrscheinliche Bandbreiten spezifischer Flächenverbräuche je Verkehrsmittel geschätzt werden. Dies ist jedoch im Rahmen dieses Forschungsauftrags nicht möglich, sondern wäre eine Anwendung der hier entwickelten Methode.

## 6 Folgerungen

### 6.1 Methodische Erkenntnisse

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnte – basierend auf einer breit durchgeführten Literaturanalyse – eine differenzierte, modulartig anwendbare Methodik zur Berechnung des Flächenbedarfs im Strassenverkehr erarbeitet werden. Kernelemente sind die Charakteristiken des Verkehrs- und Personenfluss, die Unterscheidung zwischen fliessendem und ruhendem Verkehr sowie die Charakteristiken der Infrastruktur und die Allokation der unterschiedlichen Flächen in verschiedenen Verkehrssituationen (getrennte Verkehrsmittel vs. Mischverkehr). Die Methodik wurde anhand von, typische Verkehrssituationen repräsentierenden, Fallbeispielen getestet und weiterentwickelt. Somit kann die Methodik in verschiedenen Raumtypen der Schweiz angewendet werden. Die Methodik grenzt sich klar ab von einfachen Top-down Ansätzen, welche z.B. das gesamte Netz eines spezifischen Verkehrsträgers nehmen, deren Fläche pauschal berechnen und diese Fläche durch Anzahl transportierter Fahrzeuge oder Personen dividieren. Solche Ansätze werden der zeitlich-räumlichen Dynamik des Verkehrsgeschehens nicht gerecht. Sie unterscheiden i.d.R. nicht zwischen fliessendem und ruhendem Verkehr und vor allem können sie nicht für Anwendungen im Mischverkehr verwendet werden. Letztere sind aber in der Schweiz am häufigsten.

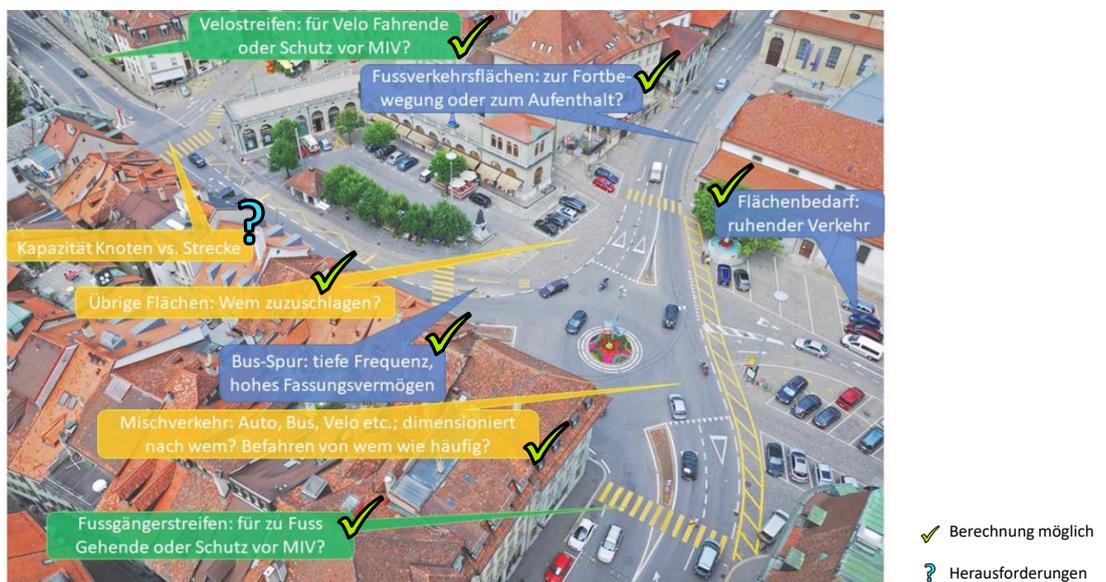
Die Methodik ist zwar differenziert und erfordert verschiedene Dateninputs. Sie kann aber sowohl hinsichtlich Dateninput als auch bezüglich einzelner Elemente des Methodenkonzepts **vereinfacht angewendet** werden:

- **Dateninput:** Wichtigste benötigte Daten sind die Verkehrsdaten an einem Standort, d.h. (Einzel-)Fahrzeug- und Personenbewegungen. Entsprechende Zählraten sind immer häufiger vorliegend. Beim Fehlen sind zwar pauschale Annahmen möglich (vergleichbare schweizweite Fälle), dies schmälert aber den Erkenntnisgewinn stark. Pauschale Annahmen sind hingegen bei verschiedenen anderen Konzeptelementen möglich (oder mangels empirischer Daten teilweise nötig), wie bei spezifischen Fahreigenschaften (z.B. Längs- und Querabstände unterschiedlicher Fahrzeugtypen) oder bei Annahmen zum Einfluss des ruhenden Verkehrs (z.B. Rotationshäufigkeit und Belegungsdauer von Parkfeldern). Auch bei der Beschreibung der Infrastrukturen muss nicht zwingend im Feld gemessen, sondern kann auf vereinfachende Hilfsmittel abgestützt werden (z.B. Luftbilder). Ein klares Verständnis ist jedoch von der Verkehrssituation notwendig. Nur so können die Flächen anhand der entwickelten Methodik bei Mischverkehrssituation richtig zugewiesen werden.
- **Konzeptelemente:** Die wichtigste Vereinfachungsmöglichkeit besteht darin, nur den Flächenbedarf des fliessenden Verkehrs abzubilden und den ruhenden Verkehr wegzulassen. Wie die Beispiele zeigen, können dadurch aber je nach Situation relevante Anteile am gesamten Flächenbedarf unterschätzt werden. Gleichwohl werden auch ohne Wechselwirkungen zwischen ruhendem und fliessendem Verkehr aussagekräftige Vergleiche verschiedener Situationen möglich sein. Auch die Informationen zum Verkehrsfluss (z.B. gefahrene Geschwindigkeiten oder Besetzungsgrade) sind häufig nicht vorhanden. Darauf kann zwar methodisch nicht verzichtet werden, es können aber Annahmen aufgrund von Drittaten hinterlegt werden (Mikrozensus, Fundamentaldiagramme für typische Verkehrssituationen, o.a.).

Eine weitere Erkenntnis der entwickelten Methodik sind die Möglichkeiten von **Makroskopischen Fundamentaldiagrammen** (MFD). Solche liegen zwar in der Schweiz bisher nur vereinzelt vor und sie sind recht datenintensiv. Mit den zunehmend digitalisierten Verkehrsmonitoringsystemen dürften solche aber in Zukunft standardisiert bereitgestellt und damit flächendeckender verfügbar werden. Der Mehrwert von MFD als Ergänzung oder Alternative zu Bottom-up basierten Flächenberechnungen kann in drei Punkten zusammengefasst werden:

1. Es kann der Flächenbedarf von grösseren Gebietseinheiten abgeschätzt werden (zumindest für den fließenden Verkehr), d.h. man ist nicht auf einzelne Querschnitte eingeschränkt.
2. Es können neben dem rein deskriptiven Flächenverbrauch einer spezifischen Verkehrssituation auch Optimumzustände berechnet werden, d.h. wo sich das Maximum zwischen Verkehrsstärke (Fz/h) und Verkehrsdichte (Fz/km) einer spezifischen Verkehrssituation befindet. Zusammen mit maximal möglichen Besetzungsgraden eines Verkehrsmittels erreicht man so auch den Zustand eines optimierten Flächenverbrauchs.
3. Die Bottom-up hergeleiteten Resultate können plausibilisiert oder einzelne (nicht verfügbare) Parameter ergänzt werden. Letzteres betrifft insbesondere die häufig nicht verfügbaren (oder nur makroskopisch modellierten) Fahrzeuggeschwindigkeiten und -Abstände.

Die entwickelte Methodik ist grundsätzlich für komplexe Zuordnungen von Verkehrsflächen anwendbar, es bleiben aber dennoch einige **Herausforderungen** bzw. methodische Grenzen. Die folgende Abbildung fasst dies zusammen:



**Abb. 48** Überprüfung spezielle Anwendungsfälle (Übersicht).

Im Folgenden sind bestehende Herausforderungen bzw. Grenzen der Methodik kurz erläutert:

- **Allgemeine Grundsätze zur Flächenzuweisung:** Im Mischverkehr ist die Fläche auf das grösste Fahrzeug dimensioniert, unabhängig von der Nutzungshäufigkeit des entsprechenden Verkehrsmittels. Zudem ist die Grösse und Aufteilung der Flächen häufig verkehrsplanerisch oder betrieblich motiviert (Verkehrssicherheit, Bus-Bevorzugung, Fussgängerstreifen, weil für MIV Tempo 50 und nicht Tempo 30 vorgesehen, Zugänglichkeit für Versorgungs- und Rettungsfahrzeuge, o.ä.). Die Methodik würde aber deutlich komplexer und die Ergebnisse kaum mehr interpretierbar, wenn solche Grundsätze systematisch integriert würden (z.B. über zusätzliche Aufschlagfaktoren). Vielmehr gilt es die planerisch-betrieblich (oder verkehrspolitisch) motivierten Einflussfaktoren des Flächenbedarfs bei der Interpretation der Resultate zu berücksichtigen (z.B. grösserer Flächenbedarf bei Autobahninfrastrukturen infolge erhöhter Sicherheitsstandards).
- **Durchschnittliche typische Kennwerte des Flächenverbrauchs** je Verkehrsmittel oder Strassenquerschnitt sind, basierend auf dieser Methode, kaum zu generieren. Die Bandbreiten sind selbst für ähnliche Verkehrssituationen je nach ortsspezifischen Rahmenbedingungen gross und die Unterschiede, beispielsweise bei Veränderung des Modalsplit, sind gross. Um schweizweit standardisierte Kennwerte

abzuleiten, müsste man viel mehr Situationen durchrechnen und ein entsprechendes Skript-basiertes Modell aufbauen (siehe Kapitel 0). Die vorliegende Methode bzw. das Tischmodell ist jedoch für die Beschreibung von Einzelfällen gut anwendbar.

- **Ausgelagerte Flächen:** Sowohl bei der Bildung des Flächenallokationsschlüssels als auch bei der Berechnung des Personenflusses pro Fläche wird nur die Fläche berücksichtigt, die innerhalb des gewählten Perimeters direkt für den Verkehr benutzt wird. Ausgelagerte Flächen wie Parkhäuser für den MIV oder Depots des öffentlichen Verkehrs werden nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für Flächen in Zusammenhang mit dem Unterhalt der Verkehrsinfrastruktur wie Materiallager oder Werkhöfe. Die systematische Berücksichtigung solcher 'ausgelagerter' oder 'Ohnehin'-Flächen wäre mit z-ig ergänzenden Annahmen verbunden und der letztlich resultierende Flächenverbrauch kaum mehr interpretierbar. Der berechnete Output beschreibt also nur die Situation im gewählten Perimeter.
- **Strecken- vs. Knotenbereiche:** Die entwickelte Methodik fokussiert auf den Flächenbedarf einzelner Streckenabschnitte. Kreuzungen / Knoten können dabei integriert sein, diese werden aber nicht gesondert berechnet. D.h. es werden für den gesamten gewählten Perimeter zusammen (für einen bestimmten Zeitpunkt) das Verkehrsaufkommen, die Geschwindigkeiten oder die Flächen berechnet. Eine Sonderberechnung einzelner Knoten wäre theoretisch möglich, würde aber in der Praxis sehr aufwändig bzw. würde kleinräumig differenzierte Verkehrszählungen benötigen. Die Knoten sind aber häufig kapazitätsbeschränkend. Über den Einfluss der Knoten auf den durchschnittlichen Verkehrsfluss im gewählten Perimeter (wichtige Inputgrösse der Methodik) sind diese indirekt aber im Flächenbedarf berücksichtigt.
- **Stör- und Nutzbarkeitsfaktoren:** Für die Bestimmung der Störung des Verkehrsflusses durch die Parkmanöver sind weiterführende Untersuchungen erforderlich, weshalb vorerst nicht vorgesehen ist, diese Abminderung anzuwenden. Der Nutzbarkeitsfaktor ist stark abhängig von den lokalen Gegebenheiten. Bei Parkfeldern ist zudem die durchschnittliche Zeit zwischen den Rotationen mitmassgebend. Diesen Faktor zu bestimmen, gestaltet sich somit als wichtige, aber anspruchsvolle Aufgabe. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren kann er zurzeit nur mittels einer Expertenschätzung festgelegt werden.
- **Fussverkehr:** Der Flächenverbrauch des Fussverkehrs ist in der Methodik zwar berücksichtigt, es bestehen aber grosse Ungenauigkeiten bei der deskriptiven Anwendung. Einerseits sind die Fussgängerzählungen sehr lückenhaft und der Personenfluss ist schwer zu berechnen (z.B. kleinräumige Richtungsänderungen, Mehrfachzählung von Personen). Zudem ist die Flächenallokation noch schwieriger. Es besteht die Gefahr, dass dem reinen (verkehrlich motivierten) Fussverkehr zu viel Fläche zugewiesen wird. Auf den entsprechenden Flächen finden häufig auch andere, schwer abgrenzbare Nutzungen statt (Gastrobetriebe, reiner Aufenthalt etc.). Vor diesem Hintergrund sind die hier berechneten Flächenverbrauchs-kennziffern des Fussverkehrs mit Zurückhaltung zu interpretieren.
- **Spezialsituation kombinierte Bus-/Velospur:** Aufgrund des höheren Verkehrsaufkommens im Veloverkehr wird mit der angewendeten Allokation ein grosser Teil dieser Fläche dem Veloverkehr und nicht dem öV zugeordnet. Dieser Effekt entspricht der Logik vom spezifischen, dynamischen Flächenverbrauch, muss bei der Interpretation von Ergebnissen aber bedacht werden.
- **Güterverkehr:** Lastwagen und ein Teil der Lieferwagen werden primär für den Güter- und nicht den Personentransport eingesetzt. Der Output der entwickelten Methodik (Fläche pro Person) ist für diese Verkehrsmittel somit keine aussagekräftige Kennzahl. Bei Lieferwagen wird der Wert dennoch ausgewiesen, bei Lastwagen hingegen wird darauf verzichtet. Die Lastwagen müssen aber trotzdem bei der Al-

lokation der Infrastrukturfäche berücksichtigt werden, da auch sie für die Dimensionierung der Verkehrsflächen mitverantwortlich sind und den Verkehrsfluss beeinflussen.

- **Flächeneffizienz pro Erreichbarkeitsniveau:** Bei der hier entwickelten Methode geht es primär um die Frage, wie die heute vorgefundene Fläche und deren betriebliche Situation in spezifische Flächenbedarfe pro Verkehrsmittel und Fortbewegungsart [ $\text{m}^2/\text{Pers.}$ ] übersetzt werden kann. Dazu macht die Methode gut begründete Berechnungsschritte, so dass robuste Resultate generiert werden können. Es ist dabei offensichtlich, dass mit steigendem Verkehrsaufkommen die Werte automatisch besser werden. Mehr Verkehr per se ist jedoch kein Nutzen. Die übliche in der Verkehrsplanung zu Grunde liegende Maxime ist die Steigerung der Erreichbarkeit (zugängliche Möglichkeiten) unter Minimierung des Ressourcenverbrauchs (Fläche, Energie, Emissionen usw.). Dies wäre jedoch eine abstraktere bzw. nochmals deutlich komplexere Herangehensweise und die Resultate wären für den Planungsalltag schwer standardisierbar.

## 6.2 Inhaltliche Erkenntnisse

Das Hauptziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Entwicklung einer Methodik zum personenbezogenen Flächenverbrauch und nicht ein standardisierter ökologischer Verkehrsträgervergleich (siehe Kapitel 1.2). Insofern lässt sich keine pauschale Rangliste zum Flächenverbrauch der untersuchten (Strassen-)Verkehrsmittel erstellen. Mit den Erfahrungen aus den Fallbeispielen (Kapitel 4) und ergänzenden Berechnungen typischer Querschnitte (Kapitel 5) können dennoch einige inhaltlich-planerische Erkenntnisse formuliert werden:

### Wirkungen spezifischer Einflussfaktoren

- Der Flächenverbrauch ist umso kleiner bzw. die Flächeneffizienz umso besser, je höher die verkehrliche Auslastung im betrachteten Perimeter ist. Dies betrifft alle Verkehrsmittel.
- Die Auslastung ihrerseits ist von diversen Faktoren abhängig (v.a. Verkehrsfluss, Verkehrsdichte, Geschwindigkeit, Besetzungsgrade), welche sich gegenseitig beeinflussen. Der Verkehrsfluss ist stark abhängig von den Geschwindigkeiten: Je homogener diese sind, umso höher der Fluss und umso geringer der spezifische Flächenverbrauch. Entsprechende Zusammenhänge nach Strassenklassen sind aus den LOS-Diagrammen ersichtlich.
- Der Modalsplit und die Besetzungsgrade haben einen sehr starken Einfluss auf den spezifischen (pro Kopf-)Flächenbedarf je Verkehrsmittel. Je höher der Anteil des Verkehrsmittels an den Gesamtfahrten, umso tiefer dessen relativen «Fussabdruck» pro Fahrt.
- Das Vorhandensein von Parkfeldern unmittelbar entlang der Fahrspuren kann den Flächenbedarf deutlich erhöhen, einerseits durch die zusätzliche Fläche per se, andererseits durch den störenden Einfluss auf den Verkehrsfluss durch Parkierungsmanöver.

### Wirkungen nach Verkehrssituationen und Verkehrsmittel

- Der öffentliche Verkehr hat dann grundsätzliche Flächenvorteile gegenüber dem Individualverkehr, wenn die Auslastung der Fahrzeuge genügend hoch ist. Dies ist zumindest in den Verkehrsspitzen und in städtischen Räumen mit hoher Nachfrage häufig der Fall. Damit ist die Pauschalaussage eines im Grundsatz flächeneffizienten Verkehrsmittel mit der Forschungsarbeit durchaus bestätigt.
- Liegt eine Verkehrssituation mit separaten Busspuren vor, so steigt logischerweise auch der Flächenbedarf im ÖV. Busspuren sind aber i.d.R. die Folge mangelnder Zuverlässigkeit im Mischverkehr und könnten damit ursächlich auch dem Individualverkehr angerechnet werden. In welcher Grössenordnung ist aber schwer objektivierbar, u.a. weil die Ursächlichkeiten sehr ortsabhängig sind. Dies wiederum zeigt die weiter oben diskutierte methodische Grundproblematik einer wertneutralen Flächenallokation.
- Beim Veloverkehr sind pauschale Aussagen zur Flächeneffizienz schwer möglich: Im Mischverkehr sind bei 'fairer' Flächenallokation durchaus gute Werte möglich. Bei separaten Veloinfrastrukturen hängt die Flächeneffizienz wiederum stark von der Auslastung ab. Bei gemischten Bus-/Velospuren stellt sich die Flächenallokationsfrage. Grundsätzlich verbessert diese Kombination aber die Flächeneffizienz beider Modi.
- Der Flächenverbrauch des Fussverkehrs ist schwierig zu berechnen bzw. mit den anderen Modi vergleichbar. Dies hängt mit den Mehrfach-Nutzungen der Trottoirflächen, den nur lückenhaft erfassbaren Fussverkehrsströmen und auch dem hohen Sicherheitsbedarf des Fussverkehrs (mit Folgen auf die Dimensionierung der Infrastrukturen) zusammen.
- Der MIV hat in den Fallbeispielen zumeist den grössten Flächenbedarf. Das Ausmass hängt aber ebenfalls stark von den Verkehrsflussparametern ab. Auch wenn bzgl. Fahrzeugfluss ein Optimalzustand gemäss Fundamentaldiagramm erreicht wird, bleibt beim MIV ein grundsätzliches Flächeneffizienzproblem, solange die durchschnittlichen Besetzungsgrade nicht erhöht werden können.

- Motorräder können dieses Problem des PW nicht lösen. Sie schneiden zwar besser ab als der PW. Aufgrund ihrer nötigen Sicherheitsabstände und höherer Geschwindigkeiten als das Velo, verpufft ein grosser Teil ihres Flächenvorteils einer gegenüber dem PW geringeren Grundfläche.
- Mischverkehr hat grundsätzliche Flächenvorteile gegenüber getrennten Verkehrsinfrastrukturen, aber nur dann, wenn der Verkehrsfluss zwischen den Verkehrsmitteln einigermassen homogen ist.
- Städtische Verkehrsinfrastrukturen sind i.d.R. flächeneffizienter als ländliche, weil die Verkehrsdichten grösser sind und der Strassenraum knapper dimensioniert wird.
- Autobahnen sind nicht in jedem Fall flächeneffizienter als andere Strassenverkehrssituationen. Auch hier sind je nach Region bzw. Streckenabschnitt und zeitlicher Betrachtung unterschiedliche Verkehrsdichten vorhanden mit Folgen für die Flächeneffizienz. Wegen höheren Geschwindigkeiten und den damit verbundenen grösseren Fahrzeugabständen und Sicherheitsanforderungen sind zudem grösser dimensionierte Flächen notwendig. Mit der Pannestreifennutzung steigt logischerweise auch die Flächeneffizienz bei Autobahnen, weil mit derselben Fläche deutlich mehr Durchfluss erreicht werden kann.

### 6.3 Anwendung in der Praxis

Die hier entwickelte Methodik zum Flächenverbrauch im Personenverkehr ist sehr differenziert, kann aber modulartig angewendet werden. Die Modellvariationen und Vereinfachungen wurden in den Kapiteln 3.6 und 5 diskutiert. Vor diesem Hintergrund gibt es für die Methodik zahlreiche Anwendungsfelder, sowohl auf strategisch-konzeptioneller Planungsebene als auch bei der Projektierung oder Bewertung von Projekten. Im Vordergrund stehen Vergleiche des Flächenverbrauchs von Verkehrssituationen im strassengebundenen Verkehr, wobei hier weiter unterschieden werden kann:

- Vergleiche innerhalb einer konkreten Verkehrssituation an einem Standort XY, aber unter Variation einzelner Einflussgrössen wie Verkehrsbelastung, Verkehrsfluss, Modal Split oder veränderter Flächen (inkl. Nebenflächen). Dies kann beispielsweise vor Erneuerungsprojekten sinnvoll sein, um das Optimierungspotenzial gegenüber dem Ist-Zustand auszuloten und für einen Soll-Zustand notwendige betriebliche Massnahmen abzuleiten.
- Vergleiche ähnlicher Verkehrssituationen, aber in unterschiedlichen Raumtypen. Dies kann bspw. für raumplanerische Strategien auf Stufe Bund (z.B. Sachplan Verkehr oder Benchmark Agglo) oder Kanton hilfreich sein.
- Vergleiche ähnlicher Verkehrssituationen, aber zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Das kann insbesondere für die Betreiber von Strassenverkehrsnetzen interessant sein (z.B. Netzscreening Autobahnnetz).
- (Grob-)Vergleiche des Flächenverbrauchs im Verkehr zwischen Teilgebieten einer Stadt (z.B. Quartiere) oder Region (z.B. Korridore). Dazu müssten jedoch Daten aus einem makroskopischen Fundamentaldiagramm zur Verfügung stehen.
- Besseres Gesamtverständnis bei Situationen, wo zwischen Mischverkehr und getrennten Flächen entschieden werden muss. Flächen-Mehrbedarf vs. Sicherheit etc.
- Besseres Gesamtverständnis bei verkehrsstrategischen Überlegungen wie Modalsplit-Ziele, Flächenstrategien zu Stadtklima im öffentlichen Raum usw.
- Verbesserte Bewertungsmethodik bei Verkehrsinfrastrukturen. Der Flächenbedarf wird heute in Bewertungen (z.B. EBeN/NISTRA) zwar berücksichtigt, aber sehr pauschal (grobe Flächenschätzung und Monetarisierung mit pauschalen Ansätzen). Bei Mischverkehrssituationen wird aber beispielsweise nicht unterschieden, wieviel Flächen welchem Verkehrsträger anzurechnen ist.

Die Forschungsarbeit hatte hingegen nicht den Anspruch einen wertenden umweltbezogenen Verkehrsträgervergleich zu erstellen. Einerseits fokussiert die Methodik auf den strassengebundenen Personenverkehr und andererseits bestand das Ziel darin, differenzierte (Bottom-up-)Ansätze zu evaluieren bzw. methodisch weiterzuentwickeln. Es ging nicht darum, die gängigen, stark vereinfachten, Top-down Ansätze anzuwenden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass der Flächenverbrauch im ökologischen Sinne zwar immer wichtiger, aber aus verkehrsplanerischer und -politischer Sicht auch nur ein Aspekt unter anderen darstellt. Einzelnen Verkehrsmitteln prioritär zugewiesene Flächen sind häufig verkehrsplanerisch oder betrieblich begründet. Es kann sich unter Umständen aufdrängen, mittels einer geeigneten Verkehrsfläche einen spezifischen Modi zu fördern und besser mit der Siedlungsentwicklung abzustimmen. Dabei wäre die Flächeneffizienz zu Beginn schlecht, würde mit der Zeit durch Verkehrsverlagerungen aber stetig verbessert. Dieses Beispiel verdeutlicht auch, dass standardisierte Kennziffern zum idealen Flächenverbrauch in typischen Situationen schwer ableitbar sind (siehe Kapitel 5).

Insgesamt können mit der entwickelten Methodik verlässlichere und breiter abgestützte Grundlagen zum Flächenverbrauch des Personenverkehrs sowie der Flächeneffizienz verschiedener Verkehrsmittel erarbeitet werden. Diese Grundlagen werden bei künftigen Planungsentscheidungen faktengestützte Abwägungen und Beurteilungen ermöglichen. Die Diskussionen zum Thema Flächenverbrauch können damit versachlicht werden.

Nutzniesser sind Verkehrsplanende auf allen öffentlichen Ebenen, insbesondere aber Bund, Kantone und Städte. Für sie bieten die Ergebnisse – und allenfalls weitere Vertiefungsarbeiten – eine wichtige fachliche Grundlage für Planungsprozesse und als Entscheidungsgrundlage. Auch für weitere Verkehrsakteure – z.B. Strasseneigentümer, Transportunternehmen, intermodale Anbieter von Verkehrsdienstleistungen – können die Ergebnisse eine wertvolle Grundlage sein.

Das Wissen um den spezifischen Flächenverbrauch von einzelnen Verkehrsmitteln hilft Planenden und politischen Verantwortlichen, bei Nutzungskonflikten im begrenzten öffentlichen Raum fundiertere Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen. Damit sollen fachliche Grundlagen für eine zunehmend wichtigere politische Forderung insbesondere in den urbanen Räumen erarbeitet werden.

## 6.4 Weiterer Forschungsbedarf

Die Forschungsarbeit hat insgesamt aufgezeigt, dass das Thema Flächenverbrauch im Verkehr in Zeiten begrenzter Ressourcen und dicht gebauten Räumen von grossem Interesse, aber gleichzeitig auch sehr komplex ist. Die Systemgrenzen sind klar zu definieren und bei verschiedenen Einflussfaktoren ist die Datenlage noch dünn. Nicht alle mit dem Thema verbundenen Abhängigkeiten konnten im Rahmen dieser Forschungsarbeit untersucht werden.

Um mit den damit verbundenen, und in Kapitel 6.1 zusammengefassten, methodischen Herausforderungen in Zukunft besser umgehen zu können, ist weiterer Forschungsbedarf gegeben. Folgende Bereiche erfordern weitere Forschungsarbeiten, Anwendungen der Methodik oder deren Weiterentwicklung:

- Vertiefende Untersuchungen zur Bedeutung von Nebenflächen (Depots, Unterhalt usw.) ausserhalb des untersuchten Strassenraums, zwecks Festlegung von pauschalen Aufschlagsfaktoren für ausgewählte Verkehrssituationen.
- Vertiefende Untersuchungen zum ruhenden Verkehr und deren Zusammenhänge zum Flächenbedarf des fliessenden Verkehrs.
- Empirische Feldtests und Erhebungen, zwecks Festlegung von Stör- und Nutzbarkeitsfaktoren in typischen Situationen (Parkieren, Einfluss Werkseinfahrten, Einfluss Fussgängerstreifen, etc.).
- Bereitstellung von (multimodalen) makroskopischen Fundamentaldigrammen für alle Schweizer Städte und deren Aufbereitung für Flächenbedarfsanalysen.
- Verbreiterung der Methodik auf den Nicht-Strassenverkehr (Bahn-, Schiffs- und Luftverkehr).
- Konkretisierung der Flächenbedarfsermittlung als weiterentwickeltes Kriterium in etablierten Bewertungssystemen von Verkehrsinfrastrukturen.
- Aufbereitung der Methode als automatisiertes Skript, inkrementelle Berechnung typischer Querschnitte (vgl. Anhang), um so typische Werte je Verkehrsmittel/Fortbewegungsart sowie Strassenraum (Betrieb und Gestaltung) zu erhalten.
- Weiterentwicklung der Flächeneffizienz in Abhängigkeit der produzierten Erreichbarkeit je Verkehrsmittel und Fortbewegungsart.
- Verkehrsplanerischer Leitfaden oder Arbeitshilfe zur effizienteren Nutzung von Verkehrsflächen (basierend auf erweiterten Fallbeispielen, zwecks Auslotens des Optimums einer bestimmten Verkehrssituation).

## Anhänge

<b>I</b>	<b>Auslegeordnung Datengrundlagen .....</b>	<b>96</b>
<b>II</b>	<b>Überblick Excel Modell .....</b>	<b>99</b>
<b>III</b>	<b>Resultate Fallbeispiele .....</b>	<b>103</b>
<b>IV</b>	<b>Typische Schweizer Strassenquerschnitte .....</b>	<b>110</b>

# I Auslegeordnung Datengrundlagen

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der vorhandenen Daten je Typ, Quelle, Differenzierung, Aggregationsebene. Weiter wird die Anwendbarkeit für die Anwendung in Bottom-Up Modelle qualitativ geschätzt.

Datentyp	Aggregations- ebene	Quelle / Datenart	Zuständige Stelle	Einheiten / Kennzahlen	Differenzierung	Bemerkungen (Qualität der Daten, Verfügbarkeit usw.)	Anwend- barkeit Bottom-up
<b>Vorliegende Daten</b>							
Verkehrs- belastungen	National	Verkehrsleistungen und Fahrleistungen	BFS	pkm, fzkM	Bus, Tram, PW, Motorräder, schnelle E-bikes	Sehr hohe Flugebene, nicht verwendbar	tief
Verkehrs- belastungen und -zustand	National / Kantonal / Kommunal	Schweizerische automatische Strassenverkehrs- zählung (SASVZ)	ASTRA	DTV, DWV, MSP, ASP, Geschwindigk eit	Motorfahrzeuge, Schwerverkehr, Fussverkehr, Radverkehr	Die Kennzahlen beinhalten aggregiert bzw. hochgerechnete Verkehrswerte. 330 Messstellen, sehr gute Qualität auf Bundesebene (hohe Dichte Messstellen), mittel gut auf kantonalen Ebene (für ersten Approach geeignet), kaum brauchbar auf Gemeindeebene.	hoch
Verkehrs- belastungen und -zustand	Kantonal	Erfassung Strassenverkehr	Kanton Zürich (exemplarisc hes Beispiel)	DTV, DWV, ASP, MSP, NVZ	Bus, Motorrad, PW, Lieferwagen, Lastwagen, Lastenzug, Sattelzug, Veloverkehr	370 Messstellen im Kt. ZH. Die Daten stehen der Öffentlichkeit im GIS-Browser zur Verfügung. Veloverkehr: 25 Messstellen mit Optosensoren (LWL), zusätzlich werden Wetterdaten angezeigt.	hoch
Verkehrs- belastungen	Kantonal / Kommunal	Verkehrs- belastungen ÖV	Transportunt ernehmen	Fahrpläne, Angaben zu Flotteneinsätz en	ÖV, Gefässe	Grundsätzlich zwei Infos-Quellen: Linienbezogene Belastungen (Nachfrage, Aufkommen) --> nicht veröffentlicht; Räumliche Verortung --> ist händisch vorzunehmen	mittel
Verkehrs- belastungen	Kommunal	Verkehrsbelastungen Fussverkehr	-	-	Fussverkehr	keine Messsysteme	tief
Verkehrs- belastungen	Kommunal	Verkehrszählung	Stadt Zürich (exemplarisc hes Beispiel)	Anzahl Fahrzeuge	MIV	97 Messstellen, Erfassung von Stundenwerten	mittel
Verkehrsdaten	National / Kantonal / Kommunal	UTD19	IVT ETH Zurich		PW, ÖV, Velo	Öffentlich verfügbarer Verkehrsdatensatz für 40 Städte	hoch
Fläche der Fahrzeuge		MOFIS (Bestand) und TARGA (Neuzulassungen)	ASTRA	Länge, Breite in m Standfläche in m <sup>2</sup>	PW	Weitere Merkmale (z.B. handelt es sich um ein SUV?) werden nicht erhoben.	hoch
Fläche der Fahrzeuge		Fahrzeugdimensio nen	Webseite <a href="https://de.automobiliedimension.com/">https://de.automobiliedimension.com/</a>	Länge, Breite in m Standfläche in m <sup>2</sup>	PW	Es besteht keine Regulation zu Maximalbreiten von Autos.	mittel
Verkehrsinfras truktural	National / Kantonal / Kommunal	Topografisches Landschaftsmodell TLM	SWISSTOPO		fast keine Attribute (u.a. keine Anzahl Spuren)	keine Beschreibung von Strassenabschnitten, nicht geeignet	tief
Verkehrs- infrastruktur	National / Kantonal / Kommunal	Open Street Map OSM	Offene Lizenz		gute Infos zu Attributen (separate Velostreifen, Mischverkehr usw.)	unklar, ob Flächen berechenbar sind (Länge mal Breite)	hoch
Verkehrs- infrastruktur	National / Kantonal / Kommunal	Ämtliche Vermessung	Die amtliche Vermessung (AV) ist eine durch Bundesrecht an die Kantone delegierte Aufgabe	Polygone der Verkehrs- flächen	kein Infos zu Attributen (separate Velostreifen, Mischverkehr usw.), sondern lediglich Flächen, die man selber interpretieren muss.	zwar einheitliche Standards und bis zu 90% digitalisiert; zudem geografisch sehr genau, aber keine Funktionszuscheidungen bei den Verkehrsflächen	mittel
Verkehrs- infrastruktur	National / Kantonal / Kommunal	Streckenlänge	BFS	Strassenlänge in km, Anzahl Spuren	Autobahnen, Kantonsstrassen, Gemeinde- und Privatstrassen, Parkplatzareal, Betriebslänge öffentlicher Strassenverkehr, Haltestellen	nicht geeignet für Bottom-up Ansätze; nur für ganz grobe Top- Down Analysen.	tief
Verkehrs- infrastruktur	National / Kantonal / Kommunal	Arealstatistik	BFS	Satelliten- raster (Hektar)	Strassenverkehr: Autobahnen, restliche Strassen und Wege, Parkplatzareale	Verkehrsflächen aus Luftbildinterpretation. Nicht angemessen für kleinräumige Flächen.	tief
Verkehrs- infrastruktur	Kantonal	Strassenetz	Kanton Zürich (exemplarisc hes Beispiel)	Strassenlänge in km, Anzahl Spuren			mittel
Mobilität	National	MZVM Mikrozensus, kantonale Stichproben davon	ARE	Angaben zu Häufigkeiten	PW, ÖV, Velo		hoch
Normen						eher für Soll-Zustand (was wäre geeignet?)	tief

Datentyp	Aggregations- ebene	Quelle / Datenart	Zuständige Stelle	Einheiten / Kennzahlen	Differenzierung	Bemerkungen (Qualität der Daten, Verfügbarkeit usw.)	Anwend- barkeit Bottom-up
<b>Modelldaten</b>							
Verkehrs- belastungen und -zustand	National / Kantonal / Kommunal		Nationale und Kantonale Verkehrsmod- elle			Heterogenität bzgl. erfassten Attributen (z.B. Breite der Spuren, Streckenlängen usw.). Vorteile: sofortige Infos zu Belastungen/Geschwindigkeiten für einen bestimmten Abschnitt. Nachteile: ungenügende Genauigkeit bzgl. geografischer Verortung um Flächen zu berechnen	mittel
Verkehrs- infrastruktur	National / Kantonal / Kommunal	MISTRA Management- Informationssystem Strasse und Strassenverkehr	Bund (z.T. Daten von Kantonen)			eher für operative Strassenunterhalt und Betrieb, weniger für Statistiken. Ist inzwischen in die Jahre gekommen, soll durch das Road Infrastructure Management ASTRA (kurz: RIMA) abgelöst werden.	tief
<b>Eigene Erhebungen</b>							
Erhebungs- methodiken	Kommunal / Querschnitt					Wenn keine Top Down zugängliche Statistiken zur Verfügung stehen, es gibt unterschiedliche Wege für eigene Erhebungen: klassisches Zählen, eigene Auswertung von Googledaten, Kameras aufstellen, etc.). Weitere Erhebungsmöglichkeiten via GPS/BigData, Videosysteme, o.ä	mittel



## II Überblick Excel Modell

### Fallbeispiel Basel Feldbergstrasse, Abendspitzenstunde

#### Parameter

INPUT

#### Parameter Betrachtungsraum

Parameter	Bezeichnung	Wert	Beschreibung
P_1	Zeitraum	ASP	Text. Keinen Einfluss auf Berechnungen
P_2	Zeit [t]	1	Die Variable t ist immer 1 und bezieht sich je nach gewähltem Zeiträum auf eine Stunde, einen Tag usw.
P_3	min/t	60	Minuten im betrachteten Zeitraum (wird aus h/t berechnet)
P_4	h/t	1	Stunden im betrachteten Zeitraum (1 bei ASP/MSP, 24 bei DWV/DTV)
P_5	Bemerkung	Fahrtrichtungen werden separate betrachtet	Allgemeine Bemerkungen. Keinen Einfluss auf Berechnungen

#### Input Zähldaten

INPUT

Modus	Fahrzeuge / Zeit	Besetzungsgrad	Personen / Zeit	Personen / Zeit
	aus Verkehrszählung		aus Personenzählung	
Velo	375.31	1.0		375.31
Motorrad	68.67	1.0		68.67
PW	809.31	1.1		890.25
LNF	76.63	1.1		84.29
Fuss	199.25	1.0		199.25
Bus	18.00		638	638.00
LKW	6.12			

\* Wenn Anzahl Fahrzeuge, Besetzungsgrad und Personen pro Zeit angegeben werden, wird beim Output die Anzahl Personen aus der Personenzählung verwendet.

**Nutzungsdauerabhängige Flächenallokation**

INPUT

**Ruhender Verkehr**

**Anwendung 1a: Ruhender Verkehr | Parkfelder (PF)**

Situation ruhender Verkehr	Situationsbeschreibung [Text]	Primärer Modus	Sekundärer Modus oder Situation FV	Parkfeldbreite aus GIS-Analyse [m]	Parkfeldlänge (aus GIS-Analyse) [m]	Anzahl Parkfelder	Zeit [t]	Rotationen PF [R/(t*PF)]	Rotationen Situation [R/t]	Ø Belegungsdauer [min]	Ø Belegungsdauer [t]	Ø freie Zeit [t]	Total Zeit belegt [t]	Total Zeit frei [t]	Nutzbarkeitsfaktor	Nutzbare freie Zeit [t]	Nutzbare freie Zeit [%]	Nicht nutzbare Zeit [t]	Nicht nutzbare Zeit [%]	Fläche primärer Modus [m²]	Fläche sekundärer Modus oder Situation FV [m²]
RV	RV_0	RV_1	RV_2	RV_3	RV_4	RV_5		RV_6	RV_7	RV_8					RV_9						
R1	PW-Parkfelder auf	R1-PW	0_1-Fuss	12.77	1.00	8.00	1	0.86	6.88	54 min	0.90	0.26	0.77	0.23	0.00	0.00	0%	1	100%	102.15	0.00
R2	Veloabstellfläche	R2-Velo	0_1-Fuss	15.05	1.00	2.00	1	1.00	2.00	60 min	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0%	1.0	100%	30.11	0.00

**Anwendung 1b: Ruhender Verkehr | Fahrbahn-, Kaphaltestellen und Busbuchten**

Situation ruhender Verkehr	Situationsbeschreibung [Text]	Primärer Modus	Sekundärer Modus oder Situation FV	Haltestellenbreite [m]	Haltestellenlänge [m]	Anzahl Haltestellen	Zeit [t]	Frequenz Hst. [FZ/(t*Hst.)]	Frequenz Situation [FZ/t]	Ø Haltdauer [min]	Ø Belegungsdauer [t]	Ø freie Zeit [t]	Total Zeit belegt [t]	Total Zeit frei [t]	Nutzbarkeitsfaktor	Nutzbare freie Zeit [t]	Nutzbare freie Zeit [%]	Nicht nutzbare Zeit [t]	Nicht nutzbare Zeit [%]	Fläche primärer Modus [m²]	Fläche sekundärer Modus oder Situation FV [m²]
RV	RV_0	RV_1	RV_2	RV_3	RV_4	RV_5		RV_6	RV_7	RV_8					RV_9						
							1		0.00		0.00	#DIV/0!	0.00	1.00		0.00	0%	1	100%	0.00	0.00

**Fussgängerstreifen**

**Anwendung 2: Fussgängerstreifen (FGS)**

Situation ruhender Verkehr	Situationsbeschreibung [Text]	Primärer Modus	Sekundärer Modus oder Situation FV	Breite FGS [m]	Länge FGS [m]	Anzahl Fussgängerstreifen	Zeit [t]	Frequenz FGS [FG/(t*Hst.)]	Frequenz Situation [FG/t]	Ø Querungsdauer [min]	Ø Belegungsdauer [t]	Ø freie Zeit [t]	Total Zeit belegt [t]	Total Zeit frei [t]	Nutzbarkeitsfaktor	Nutzbare freie Zeit [t]	Nutzbare freie Zeit [%]	Nicht nutzbare Zeit [t]	Nicht nutzbare Zeit [%]	Fläche primärer Modus [m²]	Fläche sekundärer Modus oder Situation FV [m²]
RV	RV_0	RV_1	RV_2	RV_3	RV_4	RV_5		RV_6	RV_7	RV_8					RV_9						
							1		0.00		0.00	#DIV/0!	0.00	1.00		0.00	0%	1	100%	0.00	0.00

1766 | Personenbezogener Flächenbedarf im Verkehr

Mischverkehr

Inputs

\* Exkl. Fussgängerstreifen und Fahrbahnhaltestellen

\*\* Summe aller Spuren in der jeweiligen Situation (in gleiche oder entgegengesetzte Richtung ist irrelevant). Parameter hat nur eine Auswirkung auf den mittleren effektiven Längsabstand, aber nicht auf das Ergebnis

Situation fließender Verkehr	MV	MV_0	MV_1	MV_2	MV_3	MV_4	MV_5	MV_6	MV_7	MV_8	MV_9	MV_10	MV_11	MV_12	MV_13	MV_14																		
1_24 Busspur mit	298.442	0.00	1.24-Velo	1.70	0.60	0.1	0.2	3.61111	0.8	2.88889	1.0	3.61111	5.51	0.04	1.52	0.11	263.84	0.71	210.82	1	173.02	173.02	1	173.02	173.02	1.00	99.894	1	0.35	75.14	1.3295	1.3295	158.57	158.57
1_24-Bus	18.10	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	131.18	0.96	12.18	0.89	109.65	0.29	87.62	1	9	9	345	345	345	38.33	99.894	1	6.67	4306.77	0.0232	6.67	4306.77	3777.56	98.55		
1_3 MIV-Spur (Ri)	257.283	0.00	1.3-Motorrad	2.10	0.75	0.2	0.2	10.7669	0.8	8.61355	1.0	10.7669	16.61	0.07	1.54	0.07	61.69	0.02	5.38	1	40	40	1	40	40	1.00	99.558	1	1.50	969.02	0.1027	0.1027	52.37	52.37
1_3-PW	4.30	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	61.57	0.27	5.72	0.27	2604.66	0.88	227.18	1	455.49	455.49	1.1	501.039	501.039	1.10	99.558	1	0.13	85.10	1.1699	1.2869	194.18	176.53			
1_3-LNF	5.20	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	63.91	0.28	5.94	0.28	249.53	0.08	21.76	1	42.0392	42.0392	1.1	46.2431	46.2431	1.10	99.558	1	1.43	922.02	0.1080	0.1188	201.56	183.23			
1_3-LKW	6.00	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	88.83	0.38	8.25	0.38	33.97	0.01	2.96	1	4.11765	4.11765	0	0	0	0.00	99.558	1	14.57	9413.38	0.0106	14.57	9413.38	280.16			
2_34 MIV-Spur mit	372.959	0.00	2.34-Bus	18.10	2.50	0.2	0.3	10.7669	0.8	8.61355	1.0	10.7669	93.50	0.27	8.68	0.27	78.15	0.03	12.09	1	9	9	293	293	293	32.56	91.692	1	6.67	4306.77	0.0213	0.6931	567.64	17.44
2_34-Motorrad	2.10	0.75	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	33.29	0.10	3.09	0.10	88.65	0.04	13.71	1	28.6667	28.6667	1	389.206	389.206	1.10	91.692	1	0.17	109.55	0.8370	0.9207	373.80	339.82			
2_34-PW	4.30	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	61.57	0.18	5.72	0.18	2023.29	0.84	312.87	1	353.824	353.824	1.1	38.0471	38.0471	1.10	91.692	1	1.73	1120.64	0.0818	0.0900	388.00	352.73			
2_34-LNF	5.20	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	63.91	0.19	5.94	0.19	205.31	0.09	31.75	1	34.5882	34.5882	1.1	0	0	0.00	91.692	1	30.00	#####	0.0047	30.00	#####	539.31			
2_34-LKW	6.00	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	88.83	0.26	8.25	0.26	16.50	0.01	2.55	1	2	2	0	0	0	0.00	91.692	1	14.57	9413.38	0.0106	14.57	9413.38	280.16			
1_234 Mischverkehr	28.2282	0.00	1.234-Velo	1.70	0.60	0.1	0.2	3.61111	0.8	2.88889	1.0	3.61111	5.51	0.01	1.52	0.04	263.84	0.08	2.20	1	173.02	173.02	1	173.02	173.02	1.00	4.970	1	0.35	75.14	1.3295	1.3295	158.57	158.57
1_234-Motorrad	2.10	0.75	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	33.29	0.09	3.09	0.08	123.69	0.04	1.03	1	40	40	1	40	40	1.00	4.970	1	1.50	969.02	0.0051	0.0051	201.10	201.10			
1_234-PW	4.30	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	61.57	0.16	5.72	0.16	2604.66	0.77	21.72	1	455.49	455.49	1.1	501.039	501.039	1.10	4.970	1	0.13	85.10	0.0584	0.0642	371.87	338.06			
1_234-LNF	5.20	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	63.91	0.17	5.94	0.16	249.53	0.07	2.08	1	42.0392	42.0392	1.1	46.2431	46.2431	1.10	4.970	1	1.43	922.02	0.0054	0.0059	386.00	350.91			
1_234-LKW	6.00	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	88.83	0.23	8.25	0.23	33.97	0.01	0.38	1	4.11765	4.11765	0	0	0	0.00	4.970	1	14.57	9413.38	0.0005	14.57	9413.38	536.53			
1_234-Bus	18.10	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	131.18	0.34	12.18	0.33	109.65	0.03	0.91	1	9	9	345	345	345	38.33	4.970	1	6.67	4306.77	0.0012	0.0442	792.32	20.67			
2_234 Mischverkehr	49.5635	0.00	2.234-Velo	1.70	0.60	0.1	0.2	3.61111	0.8	2.88889	1.0	3.61111	5.51	0.01	1.52	0.04	308.47	0.11	5.56	1	202.286	202.286	1	202.286	202.286	1.00	12.512	1	0.30	64.27	1.3873	1.3873	111.43	111.43
2_234-Motorrad	2.10	0.75	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	33.29	0.09	3.09	0.08	88.65	0.03	1.60	1	28.6667	28.6667	1	389.206	389.206	1.10	12.512	1	0.17	109.55	0.0142	0.0156	319.06	290.06			
2_234-PW	4.30	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	61.57	0.16	5.72	0.16	2023.29	0.74	36.44	1	353.824	353.824	1.1	38.0471	38.0471	1.10	12.512	1	1.73	1120.64	0.0112	0.0123	331.19	301.08			
2_234-LNF	5.20	1.80	0.2	0.2	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	63.91	0.17	5.94	0.16	205.31	0.07	3.70	1	34.5882	34.5882	1.1	0	0	0.00	12.512	1	30.00	#####	0.0006	30.00	#####	460.34			
2_234-LKW	6.00	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	88.83	0.23	8.25	0.22	16.50	0.01	0.30	1	2	2	0	0	0	0.00	12.512	1	14.57	9413.38	0.0106	14.57	9413.38	280.16			
2_234-Bus	18.10	2.50	0.2	0.3	10.7669	1.8	19.3805	1.0	10.7669	131.18	0.34	12.18	0.33	109.65	0.04	1.97	1	9	9	293	293	293	32.56	12.512	1	6.67	4306.77	0.0029	0.0946	679.80	20.88			

Getrennte Verkehrsflächen

Inputs

\* Exkl. Fussgängerstreifen und Fahrbahnhaltestellen

\*\* Summe aller Spuren in der jeweiligen Situation (in gleiche oder entgegengesetzte Richtung ist irrelevant). Parameter hat nur eine Auswirkung auf den mittleren effektiven Längsabstand, aber nicht auf das Ergebnis

Situation FV	GV	GV_0	GV_1	GV_2	GV_3	GV_4	GV_5	GV_6	GV_7	GV_8										
2_2 Velostreifen	154.597	0	2_2-Velo	3.61111	154.60	1	202.286	202.286	1	202.286	202.286	1.00	89.158	1	0.30	64.27	1.3873	1.3873	111.43	111.43
0_1 Trottoir (Ric)	591.857	0	0_1-Fuss	1.34	591.86	1	199.255	199.255	1	199.255	199.255	1.00	104.601	1	0.30	24.21	4.3205	4.3205	136.99	136.99

**Auswertung**

Zeit = 1.0 Stunden

**Fliessender Verkehr**

Modus	Total Personen / h im ganzen Raum	Fläche fliessender Verkehr (exkl. Fussgängerstreifen)	Fläche Fussgängerstreifen	Total Flächen fliessender Verkehr	Anzahl Fahrzeuge in Situation zu beliebigem Zeitpunkt [FZ]	Anzahl Personen in Situation zu beliebigem Zeitpunkt [Pers.]	Flächenbedarf Fahrzeuge [m <sup>2</sup> /FZ.]	Flächenbedarf Personen [m <sup>2</sup> /Pers.]	Flächenbedarf Personen [m <sup>2</sup> /Pers.] Verhältnis zwischen den Modi
Fuss	199.25	591.86	0.00	591.86	4.32	4.32	136.99	<b>136.99</b>	<b>14%</b>
Velo	375.31	373.18	0.00	373.18	2.98	2.98	125.32	<b>125.32</b>	<b>13%</b>
Motorrad	68.67	21.72	0.00	21.72	0.18	0.18	117.43	<b>117.43</b>	<b>12%</b>
PW	890.25	598.20	0.00	598.20	2.18	2.40	274.46	<b>249.51</b>	<b>26%</b>
LNF	84.29	59.29	0.00	59.29	0.21	0.23	287.32	<b>261.20</b>	<b>27%</b>
LKW		6.10	0.00	6.10	0.02		369.83		
Bus	638.00	102.59	0.00	102.59	0.05	1.72	2113.41	<b>59.61</b>	<b>6%</b>

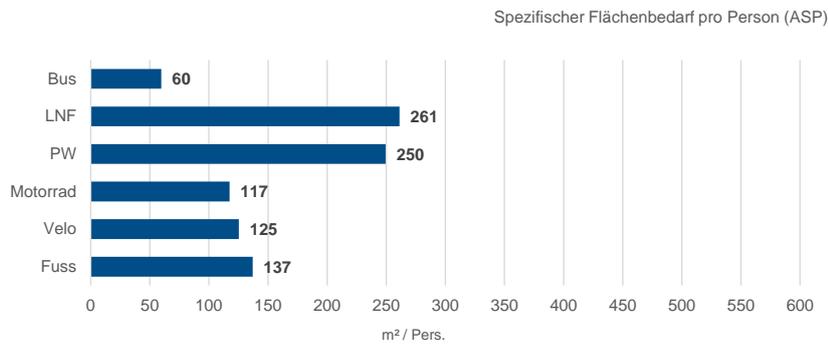
**Flächen ruhender Verkehr**

Modus	Fläche Parkierungsanlagen	Fläche ÖV-Haltestellen	Total Fläche ruhender Verkehr als primärer Modus
Fuss	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Velo	30.11	0.00	<b>30.11</b>
Motorrad	0.00	0.00	<b>0.00</b>
PW	102.15	0.00	<b>102.15</b>
LNF	0.00	0.00	<b>0.00</b>
LKW	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Bus	0.00	0.00	<b>0.00</b>

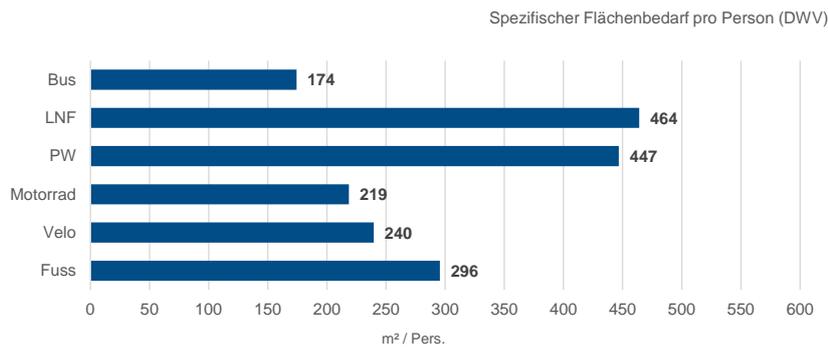
### III Resultate Fallbeispiele

#### Basel Feldbergstrasse

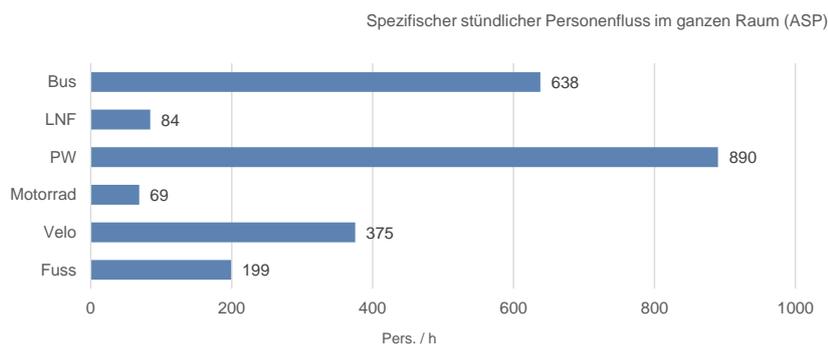
##### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse» (ASP)



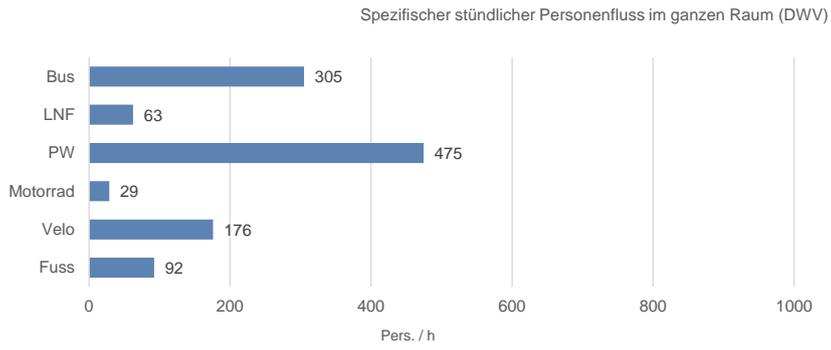
##### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse» (DWV)



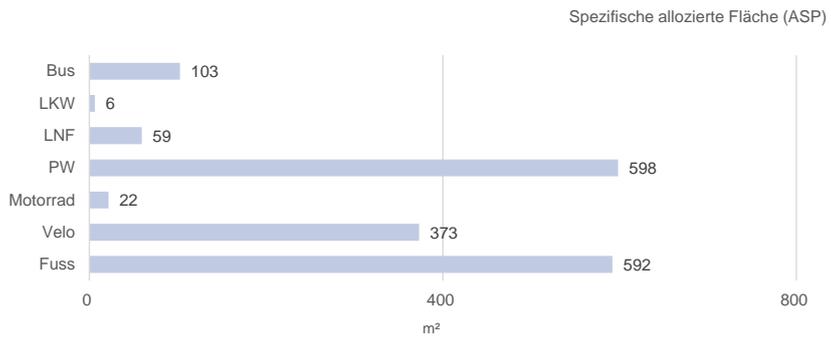
##### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse» (ASP)



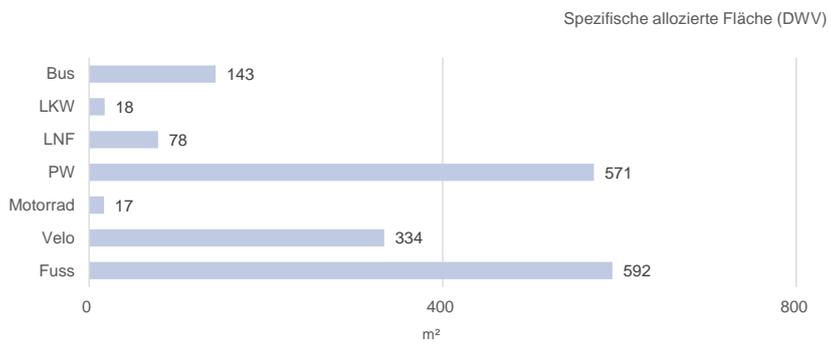
### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse» (DWV)



### Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse» (ASP)

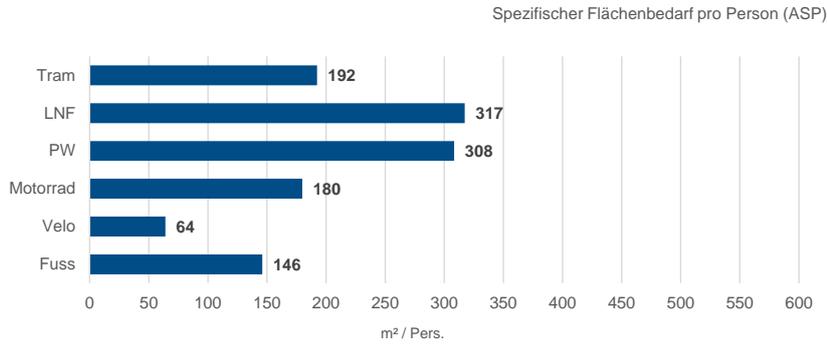


### Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Basel Feldbergstrasse» (DWV)

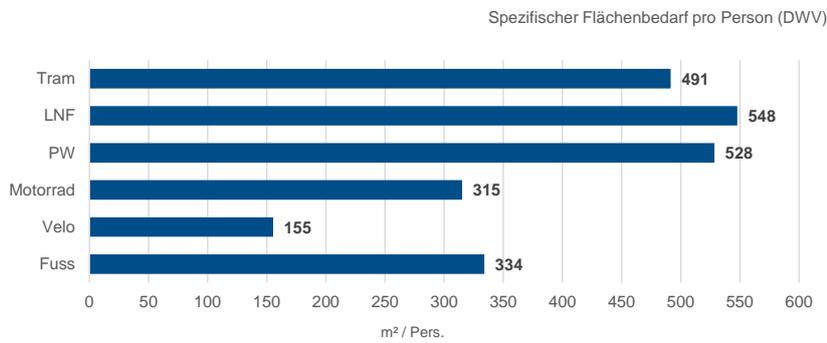


## Basel Wettsteinbrücke

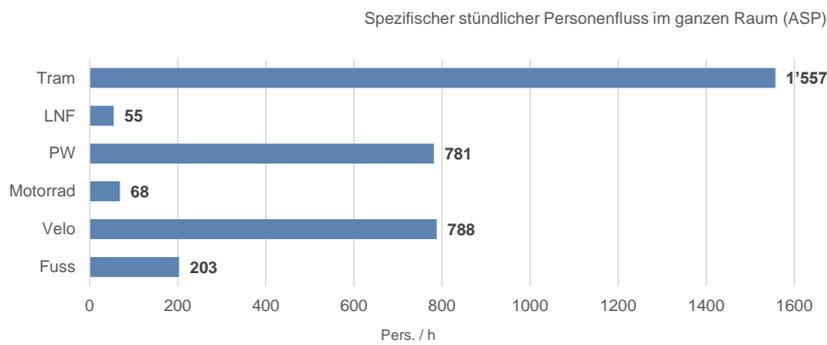
### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke» (ASP)



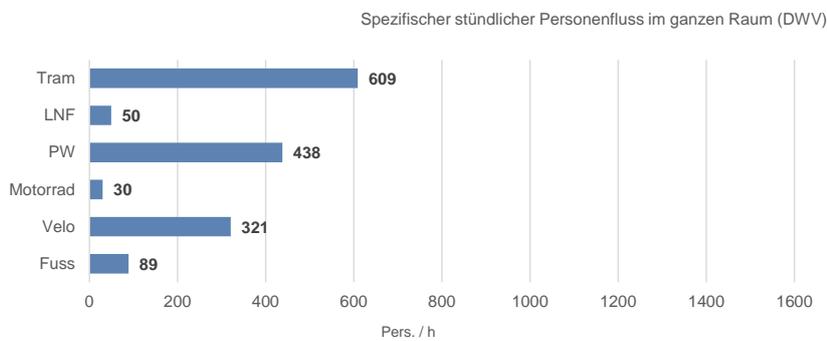
### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke» (DWV)



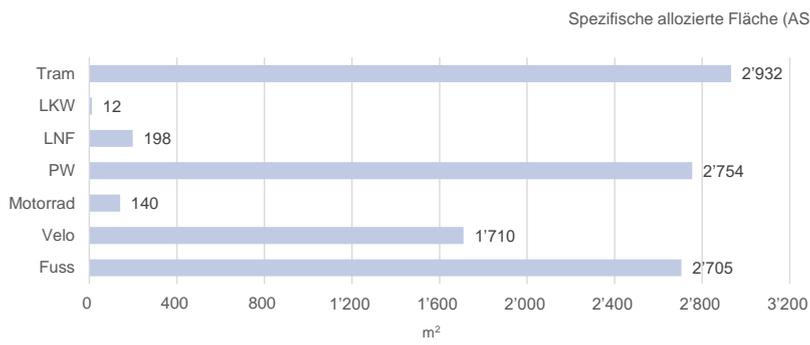
### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke» (ASP)



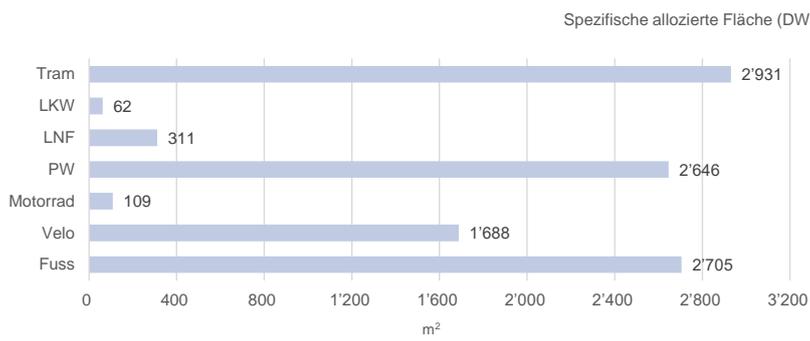
### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke» (DWV)



**Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke» (ASP)**

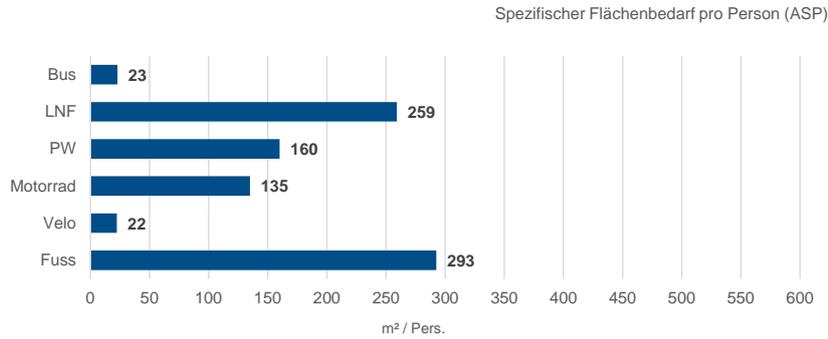


**Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Basel Wettsteinbrücke» (DWV)**

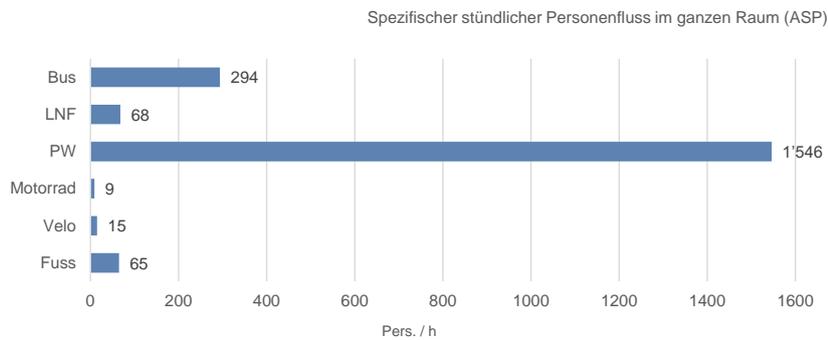


## Frick Hauptstrasse

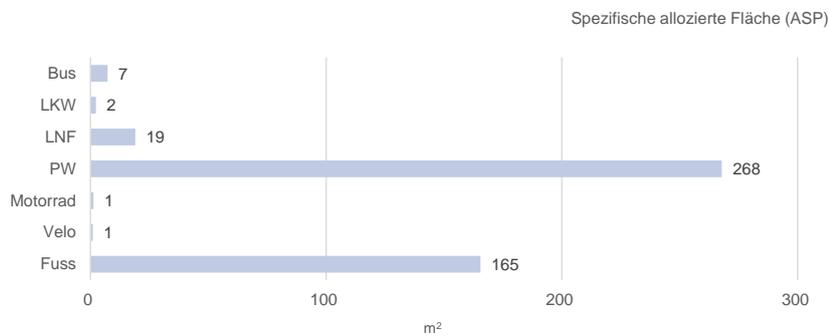
### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Frick Hauptstrasse» (ASP)



### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Frick Hauptstrasse» (ASP)

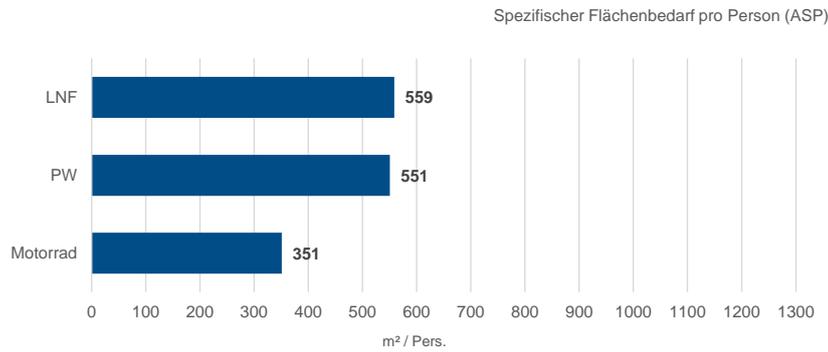


### Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Frick Hauptstrasse» (ASP)

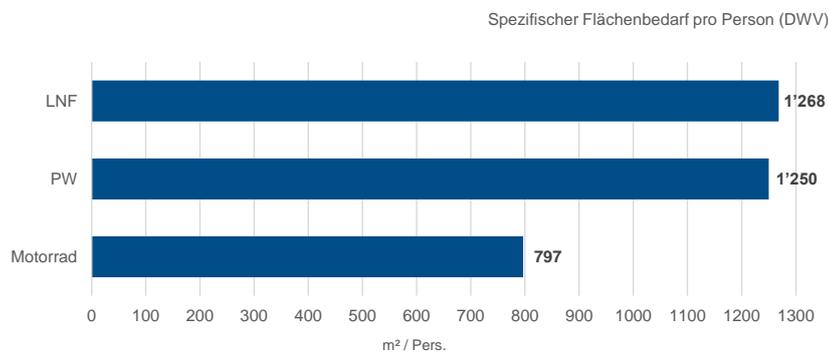


## Münsingen Autobahn

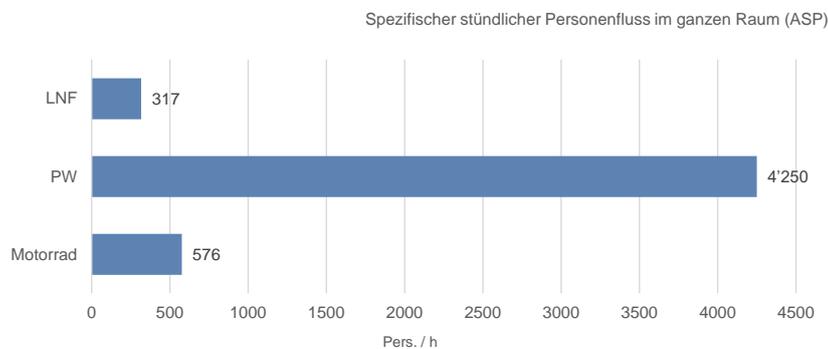
### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn» (ASP)



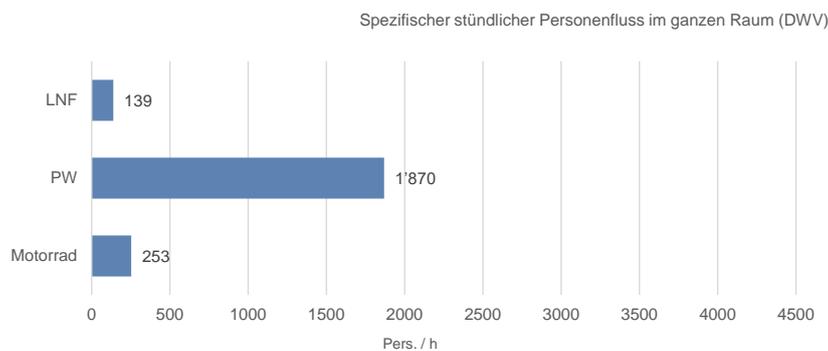
### Spezifischer Flächenbedarf pro Person, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn» (DWV)



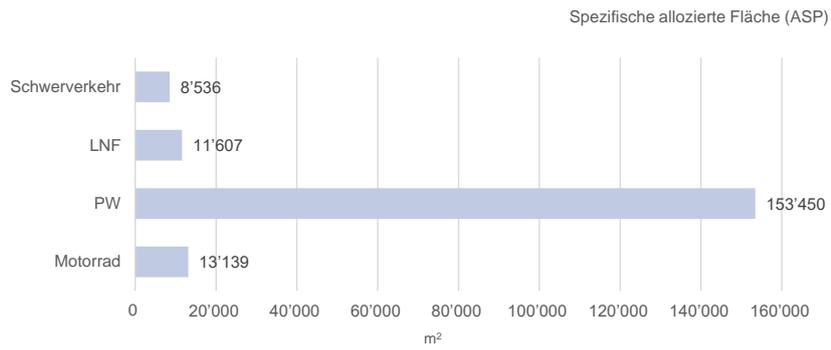
### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn» (ASP)



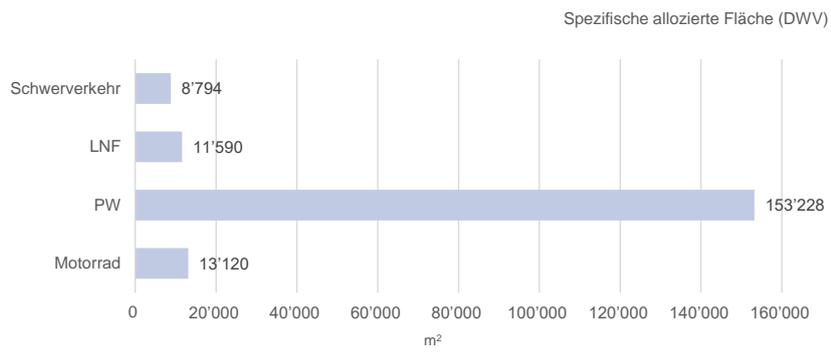
### Spezifischer Personenfluss, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn» (DWV)



### Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn» (ASP)



### Spezifische allozierte Fläche, Fallbeispiel «Münsingen Autobahn» (DWV)



## IV Typische Schweizer Strassenquerschnitte

Folgende Querschnitte sind im Schweizer Mittelland häufig vorzufinden<sup>14</sup> und könnten für standardisierte Kennziffern zum Flächenverbrauch herangezogen werden.

Autobahn (zweispurig)						
Pannestreifen (4.00m)	Fahrspur rechts (3.75m)	Fahrspur links (3.50m)	Mittelbereich (3.50m)	Fahrspur links (3.50)	Fahrspur rechts (3.75m)	Pannestreifen (4.00m)
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 26m</b>						

HVS mit Tram / Bus in Mittellage oder ÖV-Eigenstrasse							
Trottoir (2.00m)	Velo (1.50m)	MIV-Spur (3.25m)	ÖV (3.00m)	ÖV (3.00m)	MIV-Spur (3.25m)	Velo (1.50m)	Trottoir (2.00m)
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 20m</b>							

Innerstädtische Hauptverkehrsstrasse (T50 oder T30)						
Trottoir (2.50m)	Velostreifen (1.75m)	MIV-Fahrspur (3.25m)	MIV-Fahrspur (3.25m)	Velostreifen (1.75m)	Trottoir (2.50m)	
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 15m</b>						

Ortsdurchfahrt mit Kernfahrbahn T50				
Trottoir (2.00m)	Velostreifen (1.50m)	Kern (Fahrspur) (5.50m)	Velostreifen (1.50m)	Trottoir (1.50m)
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 12m</b>				

Ortsdurchfahrt ländlicher Raum (T50)			
Trottoir (1.75m)	Fahrspur (3.25m)	Fahrspur (3.25m)	Trottoir (1.75m)
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 10m</b>			

Quartierstrasse T30 (Wohnquartier / EFH-Siedlung)	
Fahrbahn / Mischverkehrsfläche (5.50m)	<i>optional Trottoir*</i> (1.50m)
Total Strassenquerschnitt: <b>ca. 5.50 – 7.00m</b>	
<i>*im ländlicheren Raum (EFH-Quartiere) häufig ohne Trottoir; alle Verkehrsteilnehmenden auf einer Mischverkehrsfläche unterwegs.</i>	
<i>Annahme: parkierte Autos (keine markierten PP, 2.00m) auf einem Viertel der Strecke.</i>	

**Abb. 49** Typische Querschnittsprofile für das Schweizer Siedlungsgebiet.

<sup>14</sup> Die Velostreifenbreite entspricht einem gängigen Mittelwert, wie er in den letzten Jahren häufig umgesetzt wurde. Die Unterschiede sind je nach Kanton beträchtlich.

Neuere, progressive kantonale oder städtische Richtlinien sehen Velostreifen mit  $\geq 1.80\text{m}$  vor, um die Sicherheit und den Komfort zu erhöhen. Die Mehrbreite wird teilweise durch eine Zuordnung der Sicherheitsabstände zwischen MIV und Velo zum Velostreifen (Puffer innerhalb Velostreifen) gewonnen.

## Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AV	Amtliche Vermessung
ASP	Abendspitzenstunde
BFU	Beratungsstelle für Unfallverhütung
BVB	Basler Verkehrs Betriebe
DWV	Werktagsverkehr
ES	Erschliessungsstrasse
FD	Fundamentaldiagramm
FZ	Fahrzeug
FzKm	Fahrzeugkilometer
GIS	Geoinformationssystem
HVS	Hauptverkehrsstrasse
HSS	Hauptsammelstrasse
LNF	Lieferwagen/Nutzfahrzeuge
MFD	Makroskopisches Fundamentaldiagramm
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MSP	Morgenspitzenstunde
MZMV	Mikrozensus Mobilität und Verkehr
OGD	Open Government Data
ÖV	Öffentlicher Verkehr
Pkm	Personenkilometer
TU	Transportunternehmen



## Literaturverzeichnis

- 
- Allekotte, M., H.-J. Althaus, F. Bergk, K. Biemann, W. Knörr and D. Sutter (2021) Umweltfreundlich mobil! Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.

---

  - Ambühl, L., F. Ciari and M. Menendez (2016) What about space? A simulation based assessment of AVs impact on road space in urban areas, paper presented at the May 2016.

---

  - Buck, M., P. Spacek, P. Windler, T. Wanner, M. Maibach and C. Lieb (2013) Aktualisierte Schätzung zum schwerverkehrsbedingten Anteil an den Strassenkosten, Phase 2, BFS, ARE & ASTRA, Zürich / Bern.

---

  - Burkhalter, R. (1990) Siedlung und Verkehr, NFP 22 Boden, SNF, Bern.

---

  - Crozet, Y. (2019) Car and Space Consumption: Rethinking the Regulation of Urban Mobility, abstract presented at the December 2019.

---

  - Crozet, Y. (2020) Cars and Space Consumption Rethinking the Regulation of Urban Mobility, International Transport Forum Discussion Papers, 2020/13, OECD Publishing, Paris.

---

  - Delacrétaz, Y. (2022) Mobilität und Verkehrsraummanagement in den Städten, paper presented at the April 2022.

---

  - Durisch, P., C. Suter and L. Cavallasca (2013) Flächenbedarf pro Person und Verkehrsmittel, Städtekonferenz, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich.

---

  - EBP (2021) Flächeneffizienz im Verkehr: Begriffsklärung und Auslegeordnung, Arbeitshilfe, paper presented at the April 2021.

---

  - Gonzales, E.J. (2011) Allocation of Space and the Costs of Multimodal Transport in Cities, University of California, Berkeley, Berkeley.

---

  - Hamm, L.S.; A.; Loder, G.; Tilg, M.; Menendez and K.; Bogenberger (2022) Network Inefficiency: Empirical Findings for Six European Cities, Journal of the Transportation Research Board, 1–13.

---

  - Héran, F. and E. Ravalet (2008) La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain Application au cas de l'île de France, Ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer & DRAST (Direction de la recherche et de l'animation scientifique et technique), Paris.

---

  - Hüsler, W. (1989) Flächensparen im Strassenverkehr, Informationen zur Raumentwicklung, 63 (1/2) 99–108.

---

  - ITF (2022) Streets That Fit: Re-allocating Space for Better Cities, International Forum Policy Papers, 100, OECD Publishing, Paris.

---

  - Kodukula, S. (2018) Rising Automobile Dependency: How to break the trend?, Division 44 - Water, Energy, Transport, 8, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Eschborn.

---

  - Litman, T. (2004) Evaluating Transportation Land Use Impacts, 1, 4, Victoria Transport Policy Institute, Victoria.

---

  - Litman, T. (2006) Smart transportation investments II Reevaluating the role of public transit for improving urban transportation, 01036424, Victoria Transport Policy Institute.

---

  - Loder, A., L. Ambühl and K.W. Axhausen (2020) Wie viel Verkehr für eine Stadt? Ein makroskopischer Ansatz, Strassenverkehrstechnik, 64 (9) 602–607.

---

  - Loder, A.; L.; Bressan, M.J.; Wierbos, H.; Becker, A.; Emmonds, M.; Obee, V.L.; Knoop, M.; Menendez and K.W. Axhausen A general framework for multi-modal macroscopic fundamental diagrams (MFD) Working Paper, DOI: 10.3929/ethz-b-000355938.

---

  - Loder, A.; L.; Bressan, M.J.; Wierbos, H.; Becker, A.; Emmonds, M.; Obee, V.L.; Knoop, M.; Menendez and K.W. Axhausen (2019) A general framework for multi-modal macroscopic fundamental diagrams (MFD), Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 1444, Zürich.

---

  - Maibach, M., D. Sutter and M. Buck (2012) Aktualisierte Schätzung zum Schwerverkehrsbedingten Anteil an den Strassenkosten, Phase 1, BFS, ARE, ASTRA, Zürich / Bern.

---

  - Maibach, M., M. Buck and C. Lieb (2013) Aktualisierte Schätzung zum Schwerverkehrsbedingten Anteil an den Strassenkosten, Synthesebericht, BFS & ARE, Zürich / Bern.

---

  - Menendez, M., J. Ortigosa, L. Ambühl, K.W. Axhausen, F. Ciari, P. Bösch, N. Geroliminis and N. Zheng (2018) Makroskopische Modelle zur Kapazitätsschätzung städtischer Netze, Zürich.

---

  - Menendez, M., J. Ortigosa, L. Ambühl, K.W. Axhausen, F. Ciari, P. Bösch, N. Geroliminis and N. Zheng (2016) NetCap: Intermodale Strecken-/Linien- und Netzleistungsfähigkeit, Zürich / Lausanne.

---

  - Nello-Deakin, S. (2019) Is there such a thing as a 'fair' distribution of road space?, Journal of Urban Design, 24 (5) 698–714.

---

- 
- Nguyen, C.Y., S. Kazushi, V.T. Tran and V.A. Nguyen (2014) Estimating Capacity and Vehicle Equivalent Unit by Motorcycles at Road Segments in Urban Road, *Journal of Transportation Engineering*, 138, 776–785.

---

  - Nussbaumer, A. (2014) Fusswegnetze in Städten, IVT, ETH Zürich, Zürich.

---

  - Oldenziel, R. and A.A. Albert de la Bruhèze (2011) Contested Spaces: Bicycle Lanes in Urban Europe, 1900–1995, *Transfers*, 1 (2) 29–49.

---

  - Perret, F., R. Baumberger, A. Bühlmann and M. Rothenfluh (2022) Flächeneffizienz im Verkehr, Schweizerischer Städteverband, Kanton Aargau, Zürich.

---

  - Peter, R. (2005) Kapazitäten und Flächenbedarf öffentlicher Verkehrssysteme in schweizerischen Agglomerationen, IVT, ETH Zürich, Zürich.

---

  - Pfaffenbichler, P. and G. Emberger (2001) Verringerung des Flächenverbrauchs durch verkehrliche Massnahmen am Beispiel der Region Wien, paper presented at the March 2001.

---

  - Pfaffenbichler, P.C. and G. Emberger (2001) Ein strategisches Flächennutzungs-/Verkehrsmodell als Werkzeug raumrelevanter Planungen, paper presented at the February 2001.

---

  - Randelhoff, M. (2019) Vergleich unterschiedlicher Flächeninanspruchnahmen nach Verkehrsarten (pro Person), *Zukunft Mobilität*, <https://www.zukunft-mobilitaet.net/78246/analyse/flaechenbedarf-pkw-fahrrad-bus-strassenbahn-stadtbahn-fussgaenger-metro-bremsverzoeigerung-vergleich/>.

---

  - Roca-Riu, M., M. Menendez, I. Dakic, S. Buehler and J. Ortigosa (2020) Urban space consumption of cars and buses: an analytical approach, *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 8 (1) 237–263.

---

  - Schopf, J., P. Faller, P. Pfaffenbichler, J. Unterweger, G. Emberger, T. Macoun and H. Knoflacher (2001) Verkehr und Mobilität, *INTERDISZIPLINÄR*, 3, Wissenschaft & Umwelt, Wien.

---

  - Sutter, D. and P. Wüthrich (2016) Flächen-Benchmark SBB – Vergleich Flächenbedarf Schienen- vs. Strassenverkehr, Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Zürich / Bern.

---

  - Sutter, D. and W. Phillip (2014) Flächenverbrauch Verkehr: Vergleich Strasse - Schiene Kurzbericht, BAFU, Zürich / Bern.

---

  - Theler, B. and K.W. Axhausen (2013) When is a bus full ? A study of perception, *Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung*, 855, IVT, ETH Zürich, Zürich.

---

  - Weidmann, U., R. Dorbritz, H. Orth, M. Scherer and P. Spacek (2011) Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen, *SVI 2004*, 039, ASTRA, Bern.

---

  - Will, M.E., Y. Cornet and T. Munshi (2020) Measuring road space consumption by transport modes: Toward a standard spatial efficiency assessment method and an application to the development scenarios of Rajkot City, India, *Journal of Transport and Land Use*, 13 (1) 651–669.

---

# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 15.09.2023

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VPT\_20\_08B-02

Projekttitel: Personenbezogener Flächenverbrauch im Verkehr

Enddatum: 31.12.2023

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Planung und Politik haben einen steigenden Bedarf nach Aussagen zum Flächenbedarf und Raumeffizienz des Verkehrs. Für konkrete Anwendungsfälle fehlen aber nicht nur Kennwerte, sondern vor allem eine etablierte Methodik, die von Fachleuten in unterschiedlichen Anwendungsfällen genutzt werden kann. Hier setzt die vorliegende Forschungsarbeit an.

Nach einer umfassenden Literaturanalyse wurde eine nach Verkehrsmitteln differenzierte Methode zur Abschätzung des personenbezogenen Flächenverbrauchs entwickelt und mittels Fallbeispielen typischer Verkehrssituationen in unterschiedlichen Räumen getestet. Die Forschungsarbeit fokussiert auf den strassengebundenen Personenverkehr, sei dies MIV, Fuss- und Veloverkehr oder öffentlicher Verkehr. Der Strassengüterverkehr wurde bei der Flächenallokation mitgedacht, als Endergebnisse resultieren jedoch personenbezogene Kennziffern. Der Flächenverbrauch des Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr wird in der Forschungsarbeit nicht behandelt.

Die Methodik basiert auf einem differenzierten Bottom-up-Ansatz und ergänzt diesen durch Möglichkeiten aus makroskopischen Fundamentaldiagrammen (MFD). In einem ersten Modul erfolgt über drei Schritte die spezifische Flächenallokation je Verkehrsmittel. Hier werden - abgestützt auf ein sehr differenziertes Wirkungsmodell - verschiedenste Einflussfaktoren berücksichtigt (Parameter zum Verkehrs- und Personenfluss, Fahrzeugdimensionen, Abstände, etc.). Zudem wird zwischen fließendem und ruhendem Verkehr unterschieden. Parallel werden die Flächen erhoben und es erfolgt im Modul 1 eine spezifische Flächenzuordnung pro Verkehrsmittelleinheit. Im Modul 2 wird die benötigte Fläche ins Verhältnis zum gesamten Verkehrsaufkommen gesetzt. So resultiert der Flächenverbrauch pro Person [ $m^2/Person$ ]. Falls vorhanden wird das Modul 2 idealerweise auf MFD-Daten abgestützt. Solch fahrzeugbezogene Daten bilden das reale Verkehrsgeschehen über Verkehrsfluss, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit in unterschiedlich grossen Räumen sehr genau ab. Mittels MFD-Daten kann zudem der optimale Verkehrszustand (und damit auch optimierter Flächenverbrauch) berechnet werden. Der Einsatz von MFD ist in der Methodik aber optional integriert, weil sie in der Schweiz bisher nur punktuell vorliegen (insbesondere multimodale MFD).



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

#### Zielerreichung:

Die entwickelte Methodik erlaubt deskriptive Analysen zum Flächenbedarf im (strassengebunden) Personenverkehr. Die Methodik ist punkto Einflussfaktoren sehr differenziert und transparent und hebt sich deutlich von stark vereinfachenden Top-down Ansätzen ab. Die Methodik ist modular aufgebaut und kann für unterschiedlichste Verkehrssituationen, Raumtypen und Zeitpunkte angewendet werden. Insofern ist das Hauptziel der Forschungsarbeit erreicht.

Es hat sich aber auch gezeigt, dass Zusammenhänge des Flächenverbrauchs sehr komplex sind. Dies betrifft insbesondere die Zusammenhänge zwischen fließendem und ruhendem Verkehr, die Beeinflussungen der Verkehrsmittel im Mischverkehr, das Betriebs- und Gestaltungskonzept sowie die grundsätzliche Frage, welche Flächen überhaupt berücksichtigt werden (u.a. Ohnehin-Flächen für Unterhalt und Services). Hinzu kommt das Problem von lückenhaften Daten. All diese Herausforderungen werden im Bericht behandelt und die Einflüsse auf das Endergebnis diskutiert. Zudem werden methodische oder datenbasierte Vereinfachungen für die Anwendung in der Praxis aufgezeigt.

#### Folgerungen und Empfehlungen:

Insgesamt können mit der entwickelten Methodik verlässlichere und breiter abgestützte Grundlagen zum Flächenverbrauch des Personenverkehrs sowie der Flächeneffizienz verschiedener Verkehrsmittel erarbeitet werden. Diese Grundlagen werden bei künftigen Planungsentscheidungen faktengestützte Abwägungen und Beurteilungen ermöglichen. Es ging in der Forschungsarbeit aber nicht darum, Empfehlungen oder gar Normen abzuleiten zu sinnvollen Standards des Flächenverbrauchs. Auch geht die Forschungsarbeit nicht der Frage nach, warum welche Flächendimensionen in spezifischen Verkehrssituationen gewählt werden. Spurbreiten sind bspw. aus Sicherheitsgründen oder aus betrieblichen Gründen unterschiedlich gross. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden.

Das Thema bleibt komplex und somit resultiert bedeutender Forschungsbedarf: Dies betrifft z.B. Untersuchungen zur Bedeutung von Nebenflächen, Erhebungen zur (ggf. normierten) Festlegung spezifischer Einflussfaktoren wie Stör- und Nutzbarkeitsfaktoren und in typischen Situationen, Bereitstellung von (multimodalen) makroskopischen Fundamentaldigrammen für alle Schweizer Städte sowie Verbreiterung der Methodik auf den Nicht-Strassenverkehr (Bahn-, Schiffs- und Luftverkehr).

#### Publikationen:

Personenbezogener Flächenverbrauch im Verkehr - Schlussbericht, VPT\_20\_08B-02 (INFRAS / ewp)

#### Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Frick

Vorname: Roman

Amt, Firma, Institut: INFRAS AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

##### Beurteilung:

Die existierende Forschung und bereits angewandte Methoden und Ansätze zur Bestimmung der Flächeneffizienz wurden in der dafür notwendigen Tiefe behandelt. Die aufgestellte Fragestellung wurde seriös bearbeitet, der Bericht ist klar und konzipiert geschrieben, gut dokumentiert und logisch strukturiert. Das zur Beantwortung der Fragestellung entwickelte Modell wurde breit eingeführt, korrekt und nachvollziehbar angewandt. Die Begleitkommission wurde zur Besprechung der zentralen Fragen und wichtigen Entscheidungen zum Fortgang des Projekts stets einbezogen. Die gewonnenen Resultate und Erkenntnisse, sowie deren Interpretation sind klar verständlich und nachvollziehbar. Dazu gehört auch, dass die im Kontext dieser Forschungsarbeit nicht zu beantworteten Teile der Fragestellung transparent ausgewiesen wurden.

##### Umsetzung:

Der Modellaufbau, wie auch die Anwendung auf die Fallbeispiele sind makellos durchgeführt worden, die dazugehörige Dokumentation ist verständlich und sehr gut nachvollziehbar. Die Resultate sind, wohl auch der Aufgabenstellung geschuldet, nicht immer konkret, oft nur in spezifischem Kontext interpretierbar und folgedessen sind allgemeingültige Aussagen nicht immer möglich. Dadurch können weiterführende Fragen in Bezug auf Flächeneffizienz teilweise nur mit Einschränkungen beantwortet werden. Diese Forschungsstudie ist eine erste Annäherung an die Problematik des Flächenbedarfs, weitere Vertiefungen sind notwendig, bevor sie in der Praxis eingesetzt werden kann. Für den Transfer in die praxisnahe Anwendung ist die Relevanz der hergeleiteten Einflussgrößen weiter zu vertiefen.

##### weitergehender Forschungsbedarf:

Die vorliegende Arbeit hat wertvolle Grundlagen in Bezug auf die Flächenbeanspruchung und -effizienz hervorgebracht. Weiterführende Arbeiten sollten sich auf für die Praxis direkt anwendbare Forschung konzentrieren. Dazu gehört auch die Frage, wie Ergebnisse der Flächeneffizienzforschung konkret in die Verkehrs- und Raumplanung einfließen.

##### Einfluss auf Normenwerk:

Ist für die Begleitkommission noch nicht erkennbar. Allenfalls wäre ein Leitfaden oder Merkblatt zur Methode und deren Anwendung sinnvoll.

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Tschopp

Vorname: Martin

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Raumentwicklung ARE

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission: