

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 Literaturlanalyse 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 [m^2/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:

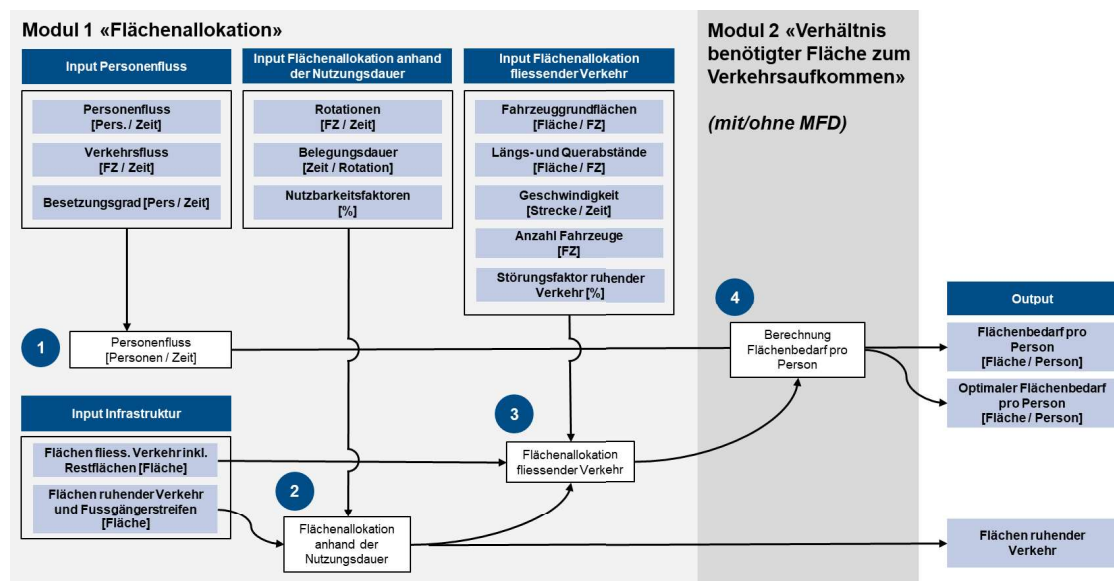


Abb. 1 Aufbau des Modells inkl. Inputs, Berechnungsschritte und Output.

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 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 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:

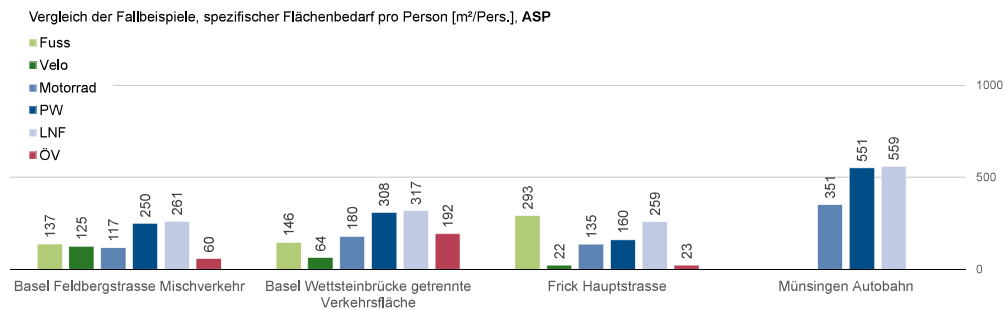


Abb. 2 Vergleich des spezifischen Flächenbedarfs pro Person je Fallbeispiel und Modus während der durchschnittlichen Abendspitzenstunde.

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 :

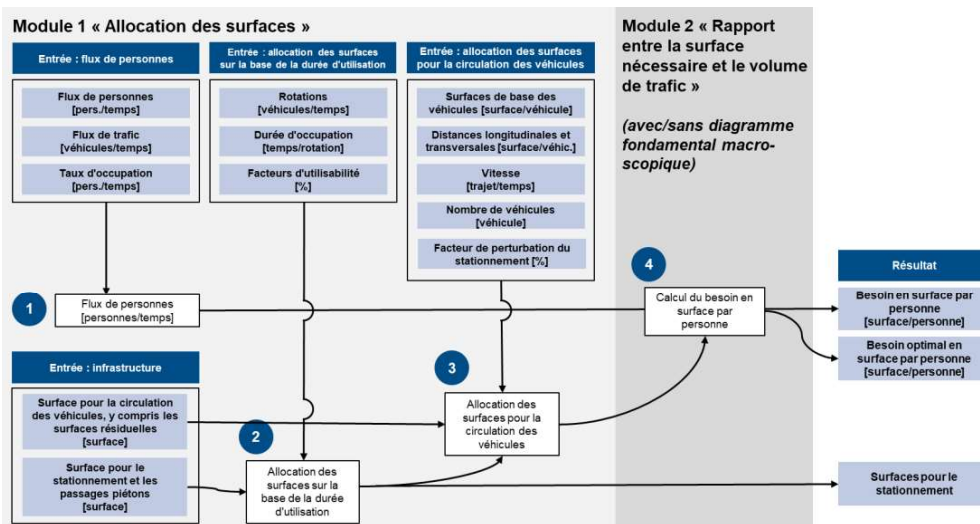


Fig. 1 Structure du modèle, y compris les entrées, les étapes de calcul et le résultat.

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:

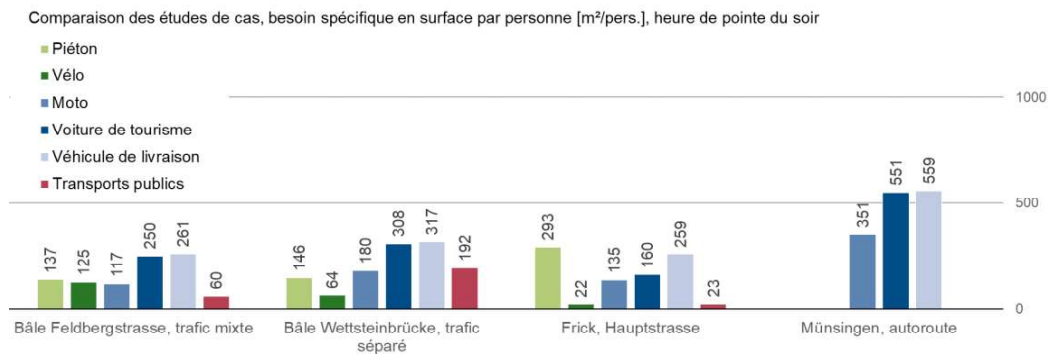


Fig. 2 Comparaison des besoins spécifiques en surface par personne, par étude de cas et par mode pendant l'heure de pointe moyenne du soir.

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 [m²/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:

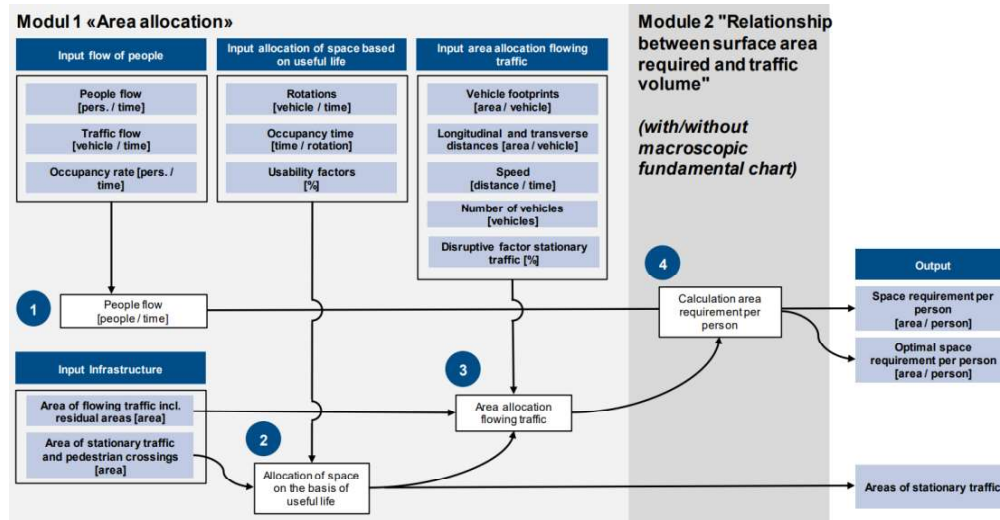


Fig. 1 Structure of the model incl. inputs, calculation steps and output.

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:

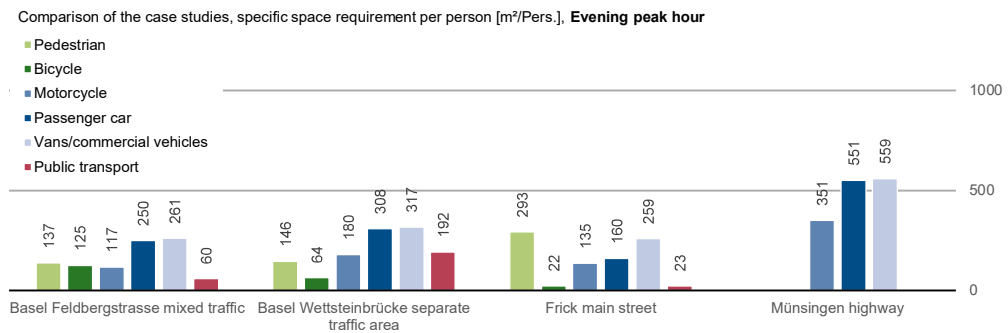


Fig. 2 Comparison of specific space requirements per person per case study and mode during the average evening peak hour.

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.