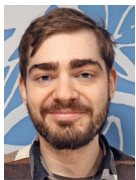


«L'indice de livrabilité»

Aide à la décision pour la logistique urbaine et les défis du dernier kilomètre

Le transport de marchandises urbain et la problématique du dernier kilomètre gagnent en importance au sein de la logistique urbaine et dans les réflexions liées au transport en général. «L'indice de livrabilité» développé par Interface Transport permet de représenter la performance d'un territoire au regard de la circulation des véhicules de livraison. Au travers de plusieurs critères, les caractéristiques du réseau routier sont évaluées afin de mettre en évidence les axes contraignants ou propices pour le transport de marchandises. Les résultats servent ensuite d'outil d'aide à la décision dans le cadre d'études logistiques.



PAR
NIELS BALIMANN
Ing. civ. dipl. EPF,
ingénieur d'étude **Interface Transport SA**



PAR
FRANCO TUFO
Ing. civ. dipl. EPF,
Directeur général **Citec Ingénieurs Conseils SA**

Les marchandises – un enjeu urbain

L'augmentation du trafic de transport de marchandises en ville est un enjeu important pour les acteurs de la logistique urbaine. D'après les prévisions de l'Office fédéral du développement territorial, les volumes et les prestations du transport de marchandises devraient augmenter de 20 % entre 2020 et 2040. Cette augmentation est en partie due à la croissance démographique, mais aussi aux changements des habitudes de consommation. En janvier 2020, le World

«Erreichbarkeitsindex für den Lieferverkehr»

Entscheidungshilfe für die städtische Logistik und die Herausforderungen der letzten Meile

Der städtische Güterverkehr und die Probleme auf der letzten Meile nehmen einen immer wichtigeren Platz in der Stadtlogistik und den allgemeinen Überlegungen zu Verkehrsfragen ein. Der von Interface Transport entwickelte «Erreichbarkeitsindex für den Lieferverkehr» (L'indice de livrabilité) eignet sich, um die Leistung eines Gebiets hinsichtlich des Lieferverkehrs darzustellen. Die Kenngrössen des Strassennetzes werden anhand mehrerer Kriterien bewertet, um die für den Gütertransport schwierigen oder günstigen Verkehrsachsen aufzuzeigen. Die Ergebnisse können anschliessend im Rahmen von Logistikstudien zur Entscheidungsfindung herbeigezogen werden.

Güter – eine Herausforderung in der Stadt

Der zunehmende Güterverkehr in der Stadt stellt die Akteure der Stadtlogistik vor grosse Herausforderungen. Prognosen des Bundesamtes für Raumentwicklung zufolge werden Umfang und Leistungen des Güterverkehrs von 2020 bis 2040 um bis zu 20 % zunehmen. Diese Zunahme ist zum Teil auf das Bevölkerungswachstum, aber auch auf sich ändernde Konsumgewohnheiten zurückzuführen. Laut Vorhersagen des World Economic Forum (WEF) vom Januar



1 | Les livraisons en site urbain: un challenge quotidien! (Photo: Interface Transport)

1 | Lieferverkehr in Städten: eine tägliche Herausforderung! (Foto: Interface Transport)

Economic Forum (WEF) prévoyait que le nombre de véhicules de livraison allait s'accroître d'un tiers d'ici 2030 dans les 100 plus grandes villes du monde ayant pour conséquence une augmentation du même ordre de grandeur des émissions polluantes et de la congestion. En Suisse, notamment en raison de la pandémie de COVID-19, l'e-commerce a connu une progression notable qui a dépassé les prévisions conduisant les transporteurs à devoir s'adapter à des mesures environnementales et de gestion du trafic devenant toujours plus strictes. Ces mesures ayant pour but de lutter contre la pollution des zones urbaines et contre la congestion influencent directement le choix des véhicules de livraison, ainsi que l'organisation des routes et des horaires.

La diversification des enjeux a fait apparaître la nécessité de trouver des solutions innovantes et de modifier la façon dont le transport de marchandises était perçu et traité jusqu'à présent. Le dernier kilomètre est devenu un enjeu important depuis une dizaine d'années, avec une prise de conscience progressive sur les problématiques liées à la logistique urbaine. Les institutions publiques ont comme objectifs généraux de mettre en place un territoire sain et attractif pour la population. En ce sens, l'impact environnemental des transports fait partie de leurs priorités actuelles. Il leur est possible d'agir sur divers domaines tel que l'efficacité énergétique des véhicules, sur la planification du réseau, sur les politiques de transport ou encore sur les infrastructures routières.

2020 wird die Anzahl Lieferfahrzeuge bis 2030 in den 100 grössten Städten der Welt um ein Drittel zunehmen und hat einen Anstieg der Schadstoffemissionen und Verkehrsüberlastung in gleicher Grössenordnung zur Folge. In der Schweiz hat insbesondere die COVID-19-Pandemie zu einem Aufschwung des Online-Handels über die Vorhersagen hinaus geführt, sodass Transporteure sich an immer strengere Umweltauflagen und Verkehrsmanagementmassnahmen anpassen müssen. Diese Massnahmen zur Bekämpfung der Umweltbelastung in städtischen Gebieten und der Verkehrsüberlastung wirken sich direkt auf die Wahl der Lieferfahrzeuge, der Strecken und Zeitpläne aus.

Aufgrund zahlreicher Herausforderungen bedarf es innovativer Lösungen, um die bisherige Wahrnehmung des Gütertransports und wie damit umgegangen wird, zu ändern. Die Frage der letzten Meile hat seit etwa zehn Jahren an Bedeutung gewonnen, und man ist sich nach und nach der mit der Stadtlogistik zusammenhängenden Probleme bewusst geworden. Das allgemeine Ziel der öffentlichen Institutionen ist ein für die Bevölkerung gesunder und attraktiver Raum. In diesem Sinne zählen die verkehrsbedingten Umweltauswirkungen heute zu ihren Prioritäten. Dabei können sie auf so unterschiedliche Bereiche einwirken wie energieeffiziente Fahrzeuge, Planung des Strassennetzes, Verkehrspolitik oder auch Strasseninfrastruktur.

Für die Überwachung der Politik für den Warenplan oder die Benachrichtigung Betroffener bezüglich der

Le monitoring des politiques publiques en matière de plan marchandise ou la communication aux professionnels des conditions de livraison dans un territoire donné souffrent de l'absence d'un indicateur.

C'est pour répondre à cette lacune que le développement de l'Indice de livrabilité a été initié l'EPFL et supervisé par le bureau Citec Ingénieurs Conseils SA. Il est maintenant porté par le bureau d'ingénieurs Interface Transport SA et développé au sein du groupe Citec.*

«L'indice de livrabilité» – un outil de planification

L'Indice de livrabilité permet d'évaluer l'impédance d'un réseau routier pour le transport de marchandises urbain. En d'autres termes, c'est un indice de performance qui permet de quantifier la facilité (ou difficulté) avec laquelle les véhicules de livraison peuvent circuler et effectuer leurs opérations sur le territoire. Il est généré par un outil de calcul qui évalue le réseau en fonction de plusieurs critères. Les résultats donnent ensuite la possibilité de produire des cartographies mettant en valeur les tronçons selon leur note et montrant ainsi la répartition spatiale de la performance d'un territoire donné au regard du transport de marchandise et en fonction de différente typologie de véhicules de livraison: Poids lourd (PL), Véhicule utilitaires légers (VUL) et Vélo-cargo (VC). Cette distinction est fondamentale, car les contraintes sont différentes et n'ont pas la même importance selon la typologie véhicule.

La création de cartes mettant en exergue les forces et les faiblesses du réseau routier du point de vue du transport de marchandises urbain permet de fournir un outil supplémentaire aux acteurs et crée un lien entre la logistique du dernier kilomètre, les politiques de transport et les infrastructures routières.

- Pour les **autorités**, cela offre une base de données utile pour la planification à différents niveaux (stratégique, opérationnel et tactique). Elles peuvent ainsi être mieux informées sur la situation du réseau (du point de vue des livraisons) et pourront intégrer cet élément dans leurs réflexions sur le système de transport, sur les politiques de régulation du trafic à mettre en place et sur les stratégies d'urbanisation et d'aménagement à développer. Avec un retraitement, il est aussi possible d'imaginer que les cartes deviennent des supports de communication pratiques lors d'échanges avec la population.

* Le groupe Citec: Citec, Interface Transport, Modality, DataCollect, Playground et IMDM
<https://www.citec.ch/nous-connaître/groupe-citec/>

Lieferbedingungen für ein bestimmtes Gebiet gibt es keine Indikatoren.

Um diese Lücke zu schliessen, wurde die Entwicklung des Erreichbarkeitsindex für den Lieferverkehr unter Aufsicht des Ingenieurbüros Citec Ingénieurs Conseils SA an der EPFL initiiert. Er wird heute von dem Ingenieurbüro Interface Transport SA unterstützt und von der Gruppe Citec* entwickelt.

«Der Erreichbarkeitsindex» – ein Planungsinstrument

Mit dem Erreichbarkeitsindex kann die Aufnahme-fähigkeit eines Strassennetzes für den Güterverkehr in der Stadt bewertet werden. Mit anderen Worten handelt es sich um einen Leistungsindex, mit dem quantifiziert werden kann, wie leicht (oder schwer) Lieferfahrzeuge im betroffenen Raum verkehren und ihre Aufgaben erfüllen können. Erzeugt wird er anhand eines Berechnungsinstruments, welches das Strassennetz anhand mehrerer Kriterien bewertet. Mit den Ergebnissen können anschliessend Karten erstellt werden, in denen die Strassenabschnitte mit einer Note dargestellt werden. So wird die räumliche Verteilung der Leistung eines bestimmten Gebiets für den Gütertransport und je nach Typ des Lieferfahrzeugs aufgezeigt: Lastwagen (LKW), leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Lastenvelos (LV). Es handelt sich dabei um eine grundlegende Unterscheidung, denn die Anforderungen sind unterschiedlich und haben je nach Fahrzeugtyp eine andere Bedeutung.

Mit dem Erstellen von Karten, welche die Stärken und Schwächen des Strassennetzes für den städtischen Gütertransport ausweisen, erhalten die Akteure ein zusätzliches Instrument, und es wird eine Verbindung zwischen der Logistik auf der letzten Meile, der Verkehrspolitik und der Strasseninfrastruktur geschaffen.

- Damit erhalten die **Behörden** eine für die Planung auf unterschiedlichen Ebenen (strategisch, operativ und taktisch) nützliche Datenbank. Sie sind zudem besser über die Lage auf dem Strassennetz (aus Sicht des Lieferverkehrs) informiert und können dieses Wissen in ihre Überlegungen zum Verkehrssystem, zur notwendigen Verkehrspolitik und zu den Entwicklungs- und Raumplanungsstrategien integrieren. Wenn sie aufbereitet werden, könnten die Karten im Austausch mit der Bevölkerung auch zu einem praktischen Kommunikationsmittel werden.

* Le groupe Citec: Citec, Interface Transport, Modality, DataCollect, Playground et IMDM
<https://www.citec.ch/nous-connaître/groupe-citec/>

- Pour les **entreprises de livraison**, un tel outil permet de planifier plus efficacement les routes de livraison, à court et long terme, et peut aider dans l'optimisation des courses. Cela fournit aussi des informations précieuses pour les chauffeurs qui sont sur le terrain, afin qu'ils puissent mieux connaître le réseau routier sur lequel ils circulent.
- Les **acteurs économiques** dans leur ensemble ont un grand intérêt à connaître la qualité de leur localisation actuelle ou future vis-à-vis des conditions de livraison qui influencent de manière directe la rentabilité de leurs activités.
- Les **consommateurs** sont moins concernés par cet indice de livrabilité qui peut être difficile à interpréter sans expérience dans le domaine des transports.

L'Indice de livrabilité ayant été développé en étroite collaboration avec le monde académique, des transporteurs nationaux et des acteurs de la planification urbaine, il a l'ambition de se placer comme un outil d'aide à la décision auprès des collectivités ou des entreprises, dans le cadre de diverses études de transport de marchandise. Les applications sont les suivantes:

- **Diagnostic de l'état actuel:** Il est possible d'obtenir une photographie de la performance en livraison du territoire à un instant donné selon les critères choisis par l'utilisateur. Par exemple, dans le cadre d'un état des lieux du réseau en amont d'une étude de flux marchandises.
- **Monitoring d'indicateur:** Un critère peut être sélectionné afin de réaliser un suivi précis et d'en mesurer l'évolution par une analyse temporel ou spatiale. Cela peut s'appliquer pour le suivi de l'avancement d'une ou plusieurs actions relatives à un plan d'action cantonal.
- **Prospection de l'état futur:** Par la paramétrisation, il est possible de représenter le réseau dans une situation planifiée, à la suite de la mise en place d'une politique de transport majeur ou d'un aménagement routier conséquent. Les effets sur les livraisons peuvent donc être quantifiées, par exemple, lors de l'introduction d'une nouvelle zone piétonne.
- **Classement de territoires:** Lorsque le diagnostic est fait sur plusieurs territoires, ceux-ci peuvent ensuite être comparé entre eux, afin de mettre en évidence les secteurs sur lesquels intervenir en priorité. Un cas d'utilisation peut être le classement et la comparaison des villes de plus de 5000 habitants d'un canton.

- Mit einem derartigen Instrument können **Lieferfirmen** kurz- und langfristig die Lieferwege effizienter planen und zur Einkaufsoptimierung beitragen. Ausserdem beinhaltet es für die Fahrer vor Ort wichtige Informationen zum besseren Verständnis des Strassennetzes, auf dem sie sich bewegen.
- Für alle **wirtschaftlichen Akteure** ist es wichtig, in Bezug auf die Lieferbedingungen die Qualität ihrer derzeitigen oder künftigen Lage zu kennen, die sich direkt auf die Rentabilität ihrer Aktivitäten auswirkt.
- Dieser Erreichbarkeitsindex ist für **Konsumenten** weniger relevant, da es schwierig sein kann, ihn ohne Erfahrungen im Transportbereich zu interpretieren.

Der in enger Zusammenarbeit mit Hochschulen, Schweizer Transportunternehmen und Akteuren aus der Städteplanung entwickelte Erreichbarkeitsindex soll im Rahmen verschiedener Studien zum Gütertransport eine Hilfe bei der Entscheidungsfindung von Behörden oder Unternehmen darstellen. Dazu gibt es folgende Anwendungsmöglichkeiten:

- **Beurteilung des heutigen Zustands:** In Abhängigkeit der vom Benutzer gewählten Kriterien kann man ein Abbild der Lieferleistung des Gebiets zu einem bestimmten Zeitpunkt erhalten – etwa im Rahmen einer Bestandsaufnahme des Strassennetzes vor einer Studie des Warenflusses.
- **Indikator-Monitoring:** Anhand eines ausgewählten Kriteriums kann eine genaue Überwachung erfolgen und die Entwicklung durch eine zeitliche oder räumliche Analyse gemessen werden. Das kann für das Verfolgen von Aktionen im Rahmen eines kantonalen Aktionsplans gelten.
- **Exploration des künftigen Zustands:** Anhand der Parametrierung kann das Verkehrsnetz in einer geplanten Situation, nach der Umsetzung umfassender Transportpolitikmassnahmen oder einer grösseren Strassenverkehrsinfrastruktur, dargestellt werden. Beispielsweise kann die Auswirkung einer neuen Fussgängerzone auf Lieferungen quantifiziert werden.
- **Gebietsklassifizierung:** Bei einer Beurteilung mehrerer Gebiete können diese anschliessend untereinander verglichen werden, um die Bereiche auszuweisen, in denen prioritär gehandelt werden muss. In einem Anwendungsfall könnten etwa Städte mit mehr als 5000 Einwohnern eines Kantons eingestuft und verglichen werden.



2 | Cinq applications de l'indice de livrabilité pour les études logistiques. (Source: Interface Transport)
 2 | Fünf Anwendungsmöglichkeiten des Erreichbarkeitsindex für Logistikstudien. (Quelle: Interface Transport)

➤ **Foncier logistique:** Lors de projets fonciers ayant un caractère logistique, comme l'implantation d'un centre de distribution urbain, il est intéressant de mettre en valeur l'accessibilité de divers zones/quartiers pour les véhicules de livraison, et d'identifier les obstacles potentiels.

➤ **Logistikimmobilien:** Bei logistischen Immobilienprojekten wie der Niederlassung eines städtischen Verteilerzentrums können die Zufahrtsmöglichkeiten verschiedener Bereiche/Quartiere für Lieferfahrzeuge aufgezeigt und potenzielle Hindernisse identifiziert werden.

«L'indice de livrabilité» – comment ça marche?

Les données du réseau routier utilisées lors de ce projet proviennent principalement de l'entreprise HERE, leader sur le marché des plateformes de localisation et des produits liés à l'exploitation des données géospatiales pour la navigation. Les jeux de données suivants sont utilisés: NAVSTREETS (modélisation et caractéristique du réseau routier), SpeedData (extraction des données GPS de véhicule), Incidents (perturbation du trafic), Advanced Driver Assistance System (caractéristiques plus détaillées du réseau). D'autres données géospatiales sont utilisées pour compléter les données HERE, par le biais des géoportails et services OpenData de la Confédération, des Cantons et des communes. Ces traitements de grandes bases de données ont été confiés à Modelity.

Les éléments qui influencent l'impédance au transport de marchandise sur le dernier kilomètre proviennent de multiples sources: Infrastructures, mesures de régulation du trafic, politiques de transport, aménagement urbain, urbanisme et utilisation du sol, relation avec le système de transport, comportement humain, etc... Dans le cadre de ce projet, deux catégories principales ont été retenues: les politiques de transport et les infrastructures de transport, pour en extraire plusieurs indicateurs pertinents pour l'évaluation. Le choix des indicateurs est principalement conditionné par l'accès (ou l'existence) aux données spatiales, ainsi que par la possibilité de les traiter pour une évaluation selon le barème défini.

Wie funktioniert der «Erreichbarkeitsindex»?

Die für dieses Projekt verwendeten Daten des Strassennetzes stammen in erster Linie von HERE, einem führenden Unternehmen auf dem Markt der Lokalisierungsplattformen und der Produkte zur Auswertung räumlicher Daten zu Navigationszwecken. Folgende Datensätze werden verwendet: NAVSTREETS (Modellierung und Eigenschaften des Strassennetzes), SpeedData (Abfrage der GPS-Daten des Fahrzeugs), Incidents (Verkehrsstörungen), Advanced Driver Assistance System (detailliertere Merkmale des Strassennetzes). Die HERE-Daten werden mittels der Geoportale und -dienste von OpenData des Bundes, der Kantone und Gemeinden um weitere Geodaten ergänzt. Modelity wurde mit der Verarbeitung dieser grossen Datenbanken beauftragt.

Vielfältige Elemente beeinflussen den Gütertransport auf der letzten Meile: Infrastruktur, Verkehrsregelungsmassnahmen, Verkehrspolitik, städtische Raumplanung, Stadtplanung und Bodennutzung, Anschluss an das Verkehrssystem, menschliches Verhalten usw. Zwei Hauptkategorien wurden für dieses Projekt gewählt, um für die Bewertung mehrere relevante Indikatoren zu extrahieren: die Verkehrspolitik und Transportinfrastrukturen. Die Wahl der Indikatoren ist in erster Linie durch den Zugang zu (oder das Vorhandensein von) räumlichen Daten und die Möglichkeit bedingt, diese für eine Bewertung gemäss einer vorgegebenen Skala zu verarbeiten.

La liste des indicateurs souhaitables a été établie en suivant un processus simple:

- élaboration d'une liste préliminaire basée sur la littérature disponible et les publications scientifiques traitant du sujet, puis,
- choix au travers d'entretiens avec des experts du transport et de la logistique urbaine et enfin,
- validation après plusieurs entretiens avec des professionnels d'entreprises actives ou en lien avec le transport de marchandises, à savoir Migros, Planzer, Galliker et Vélocité (Microhub Riviera).

Finalement, la liste des indicateurs retenus sont ceux pour lesquels des données géospatiales ou tabulaires étaient existantes, disponibles et qui pouvaient être traitées informatiquement et de manière automatisée.

Les indicateurs sont répartis dans deux groupes qui permettront d'agréger les notes et de calculer deux indices globaux pour les réseaux étudiés:

- **Circulation:** Lié au déplacement des véhicules entre l'entrepôt et le secteur (à l'échelle d'un quartier) dans lequel se situe les points de livraison.
- **Accessibilité:** Lié à la manière d'atteindre le point de livraison précis et d'effectuer la livraison une fois dans le secteur concerné.

Ensuite, des seuils de notation sont définis pour chaque typologie de véhicule pour permettre l'évaluation des indicateurs.

Die Liste wünschenswerter Indikatoren wurde anhand eines einfachen Verfahrens festgelegt:














- Ausarbeitung einer vorläufigen Liste auf der Grundlage vorhandener Literatur und wissenschaftlicher Veröffentlichungen zum Thema, anschliessend
- Wahl anhand von Gesprächen mit Fachleuten für Verkehr und Stadtlogistik und schliesslich
- Validierung nach mehreren Gesprächen mit Fachleuten in Unternehmen, die im Bereich Gütertransport tätig sind oder damit in Verbindung stehen, d. h. Migros, Planzer, Galliker und Vélocité (Microhub Riviera).

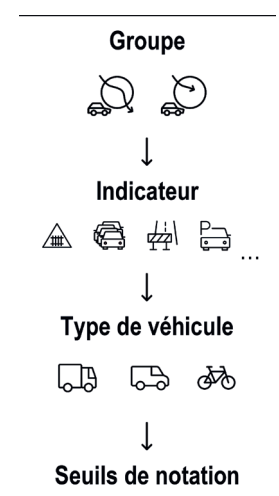
Auf der Liste stehen Indikatoren, deren räumliche oder tabellarische Daten vorhanden und verfügbar sind und computergestützt automatisiert verarbeitet werden können.

Die Indikatoren gehören zu zwei Gruppen, deren Bewertungen aggregiert und für die zwei Gesamtindizes für die analysierten Strassennetze berechnet werden können:

- **Verkehr:** Im Zusammenhang mit den Fahrten von Fahrzeugen zwischen dem Lager und dem Bereich (Quartier) der Anlieferstellen.
- **Erreichbarkeit:** Im Zusammenhang mit der Art, wie die jeweilige Anlieferstelle erreicht und die Lieferung im betroffenen Bereich ausgeführt werden kann.

Für die Bewertung der Indikatoren werden anschliessend für jeden Fahrzeugtyp Bewertungsklassen festgelegt.

 Circulation :		
	Voie de circulation	PL et VUL : Nombre de voie de circulation disponible VC : Bande cyclable et nombre de voie
	Transports publics	Fréquence de passage aux arrêts
	Obstacles	Nombre d'obstacle sur le tronçon
	Carrefour	Type de carrefour
	Vitesse	Limite légale de vitesse
	Congestion	Indice de calcul de la congestion (Road Segment congestion index)
	Chantier	Impact et durée des chantiers
 Accessibilité :		
	Gabarit	Limite de gabarit des véhicules
	Horaire	Heures accessibles
	Stationnement	Nombre de place de stationnement à proximité
	Pente	Pente maximum du tronçon



3 | Liste des critères de la version initiale de l'indice de livrabilité. (Source : Interface Transport)
 3 | Kriterienliste der Erstfassung des Erreichbarkeitsindex. (Quelle: Interface Transport)

4 | Processus de notation des indicateurs de l'indice de livrabilité. (Source: Interface Transport)
 4 | Bewertungsverfahren für Indikatoren des Erreichbarkeitsindex. (Quelle: Interface Transport)

Le calcul de l'indice pour tout le réseau se base sur le principe de créer une combinaison entre l'offre et la demande représenté ici par la capacité du réseau à accueillir des véhicules de livraison et la charge de trafic ainsi que la concentration des générateurs de mouvements (livraison ou enlèvement).

La «valeur de l'offre» est le résultat des notes des indicateurs, obtenues par chacun des tronçons en fonction de leurs caractéristiques et des seuils établis préalablement. Deux sources sont utilisées pour calculer la demande. D'une part, la «valeur de demande» équivaut à la charge de trafic selon les modes de transport considérés. Il est possible d'y associer un plan du réseau du Trafic Journalier Moyen (TJM) issu de comptages. D'autre part, la «demande» dépend de la concentration des livraisons à effectuer sur ce tronçon. L'outil se base sur la localisation des commerces et leur typologie, afin d'y associer un nombre de mouvements ou des notions de volumes.

Le processus de travail est composé de trois étapes (Figure 6), correspondant à trois outils de géotraitement développés pour cet indice. Ils sont programmés en langage Python et utilisables dans le logiciel de Systèmes d'Information Géographiques (SIG), ArcGIS Pro. Le premier outil Extraction permet de réaliser une extraction de la couche réseau de base fournie par HERE, en ne conservant que l'étendue voulue, ainsi que les tronçons et attributs nécessaires à la suite de l'analyse.

Le deuxième outil est le calcul de l'indice. Il prend en entrée la couche extraite à l'étape précédente, ainsi que toutes les données externes nécessaires à son fonctionnement. Une fois l'outil lancé, il procède aux traitements des données, aux calculs des indicateurs et des notes globales, ainsi qu'à la création de la symbologie et des graphes. En sortie, deux éléments sont produits: la couche comprenant le réseau dont les tronçons ont acquis les attributs issus du calcul des indicateurs et une table comprenant les valeurs de calculs et les notes des indices globaux pour tout le réseau.

Le troisième outil permet la publication des résultats obtenus sur un portail Online. Ce portail permet de stocker et partager des données géospatiales, librement ou au sein d'une organisation. Il est aussi possible de créer des cartes web et des applications web à partir des données publiées pour permettre la consultation et l'analyse. Un exemple est donné en Figure 5.

Die Indexberechnung für das gesamte Strassennetz erfolgt auf Grundlage des Prinzips, eine Kombination zwischen Angebot und Nachfrage zu schaffen, die hier durch die Aufnahmekapazität des Strassennetzes für Lieferfahrzeuge, die Verkehrsbelastung und die Dichte der Bewegungserzeugung (Lieferung oder Abholung) dargestellt wird.

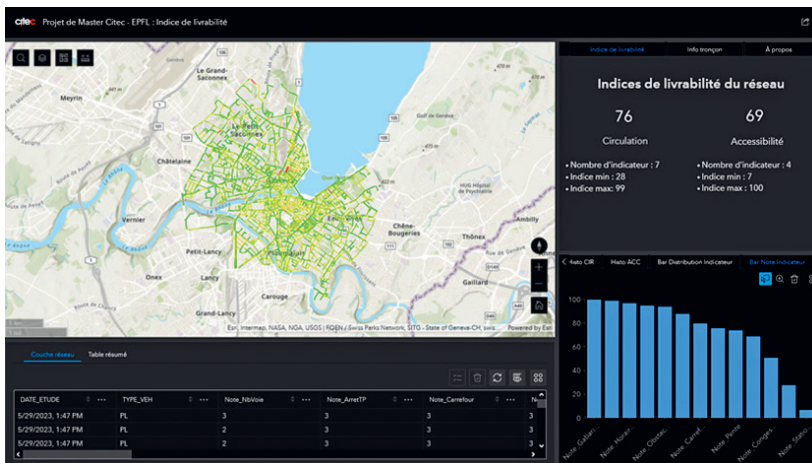
Der «Angebotswert» ergibt sich aus den Noten der Indikatoren jeder Strecke auf der Grundlage der zuvor festgelegten Merkmale und Grenzwerte. Zur Berechnung der Nachfrage werden zwei Quellen hinzugezogen. Einerseits entspricht der «Nachfragewert» der Verkehrsbelastung durch die betrachteten Transportarten. Ein aus Zählungen hervorgehender Netzwerkplan des durchschnittlichen Tagesverkehrs (DTV) kann mit diesem Wert verknüpft werden. Andererseits ist die «Nachfrage» von der Anzahl Lieferungen auf diesem Strassenabschnitt abhängig. Das Instrument basiert auf der Lage und Art der Gewerbe und verknüpft diese mit einer Anzahl Bewegungen und Volumina.

Der Arbeitsablauf besteht aus drei Phasen (Abbildung 6) entsprechend den drei für diesen Index entwickelten Geodaten-Verarbeitungsinstrumenten. Sie werden in der Programmiersprache Python programmiert und können in der GIS-Software ArcGIS Pro verarbeitet werden. Mit dem ersten Tool kann die von HERE bereitgestellte Basisnetzwerkebene extrahiert werden, wobei nur der gesuchte Umfang wie auch die anschliessend erforderlichen Strassenabschnitte und Attribute beibehalten werden.

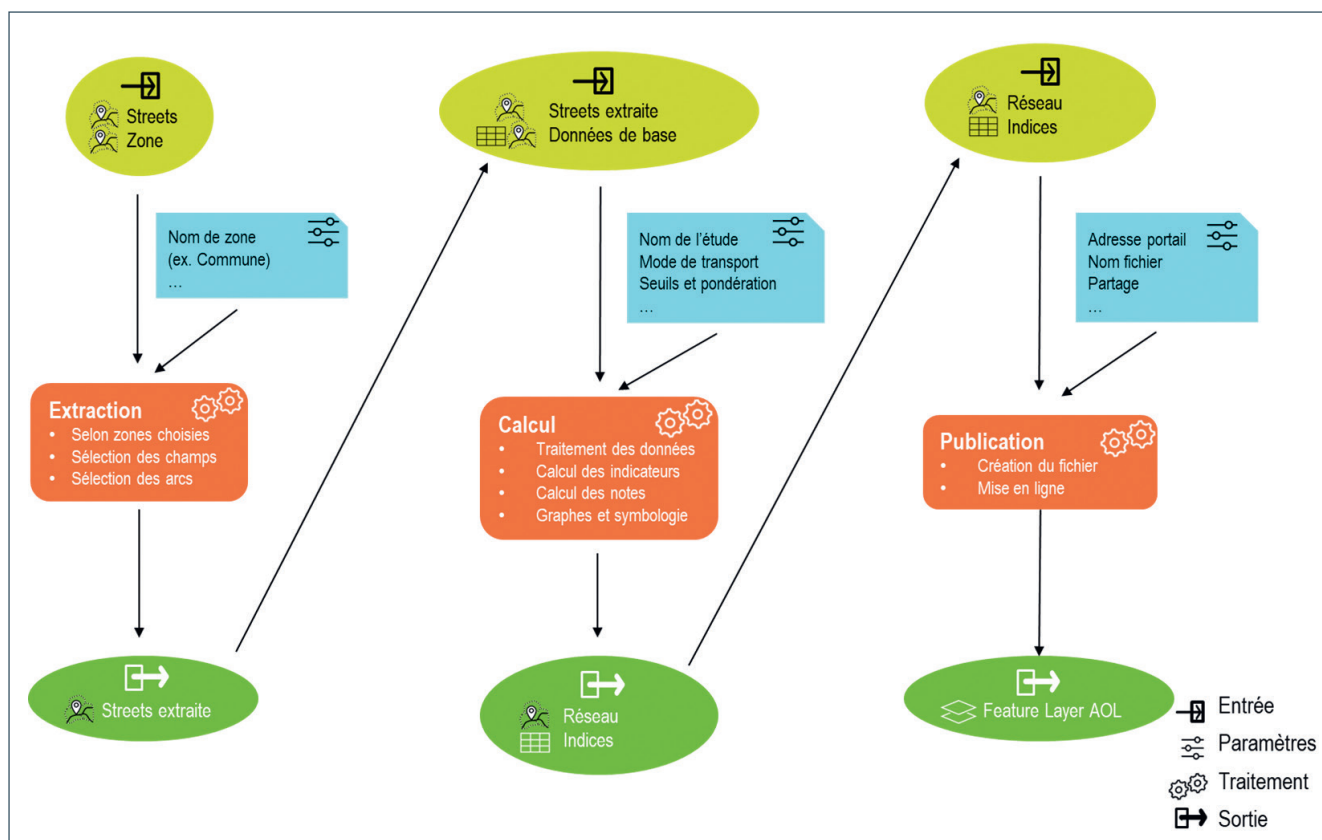
Das zweite Tool ist die Indexberechnung. Die im vorhergehenden Schritt extrahierte Ebene und alle für die Berechnung erforderlichen externen Daten werden als Eingangsdaten verwendet. Anschliessend verarbeitet das Tool die Daten, berechnet die Indikatoren und Gesamtnoten und erstellt Symbole und grafische Darstellungen. Daraus folgen zwei Ausgaben: die Ebene mit dem Strassennetz, wobei den Strassenabschnitten nach Berechnung der Indikatoren Attribute zugeordnet wurden, und eine Tabelle mit den Berechnungswerten und Noten der Gesamtindizes für das gesamte Strassennetz.

Mit dem dritten Tool können die so erhaltenen Ergebnisse auf einem Onlineportal veröffentlicht werden. Auf diesem Portal können Geodaten frei oder für ein Unternehmen gespeichert und geteilt werden. Auf Basis der veröffentlichten Daten können internet- und anwendungsbasierte Daten zur Einsichtnahme und Analyse erstellt werden. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel.

5 | Extrait de la WebApp online permettant de consulter les résultats.
 (Source: Interface Transport)
 5 | Auszug aus der Online-WebApp, mit der die Ergebnisse abgerufen werden können.
 (Quelle: Interface Transport)



6 | Processus fonctionnel de l'outil.
 (Source: Interface Transport)
 6 | Funktionsprozess des Tools.
 (Quelle: Interface Transport)



«L'indice de livrabilité» – étude de cas

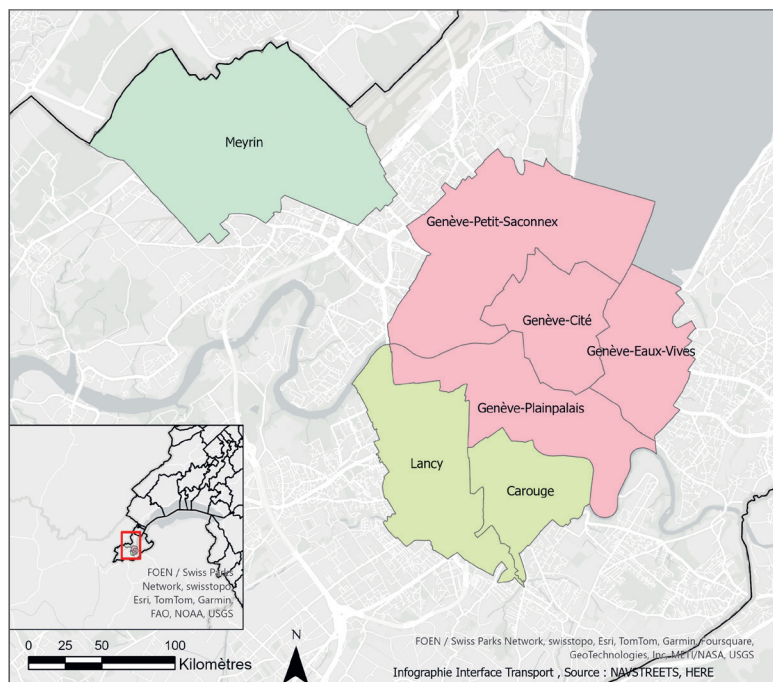
Le choix du cas d'étude présenté ici s'est porté sur le Canton de Genève où Interface Transport a son siège et pour lequel il a élaboré le plan d'action cantonal marchandises 2019–2023, avec la réalisation d'un diagnostic et la définition d'une liste d'actions opérationnelles, suivi de leur monitoring.

L'ensemble des connaissances acquises lors de précédents projets (stratégie cantonale marchandises sur les affectations logistiques à la Praille et ZIMEYSAVER, concept logistique pour l'aggloméra-

«Der Erreichbarkeitsindex» – Fallstudie

Für diese Fallstudie wurde der Kanton Genf, der Firmensitz von Interface Transport, ausgewählt. Für diesen Kanton hat das Unternehmen den kantonalen Aktionsplan Waren 2019–2023 mit einer Beurteilung und einer Liste betrieblicher Aktionen und deren Überwachung erstellt.

Anhand der Erkenntnisse aus früheren Projekten (kantonale Güterstrategie zur Logistikknutzung in La Praille und ZIMEYSAVER, Logistikkonzept für die Agglomeration Lausanne im Jahr 2022 usw.) können



7 | Secteurs étudiés dans l'étude de cas.

7 | In der Fallstudie analysierte Bereiche.

tion lausannoise en 2022, ...) permettent de replacer les résultats dans un contexte connu et d'y apporter un regard critique.

Trois secteurs ont été sélectionnés pour l'application de l'Indice de livrabilité: la Ville de Genève, la Ville de Carouge-Lancy et la ville de Meyrin (Figure 7).

Pour les critères liés à la circulation des véhicules, les résultats de l'analyse montrent que les routes classées avec un plus haut niveau hiérarchique (réseau primaire) sont plus propices au déplacement des poids lourds. En contrepartie, les routes de desserte locale obtiennent des moins bonnes notes, principalement en centre-ville de Genève. Comme le montre la Figure 8, la commune de Meyrin est globalement meilleure que les deux autres secteurs. Un constat similaire peut être fait pour les véhicules utilitaires légers. Pour cette analyse, les indicateurs les plus critiques sont la disponibilité des voies de circulation et la congestion.

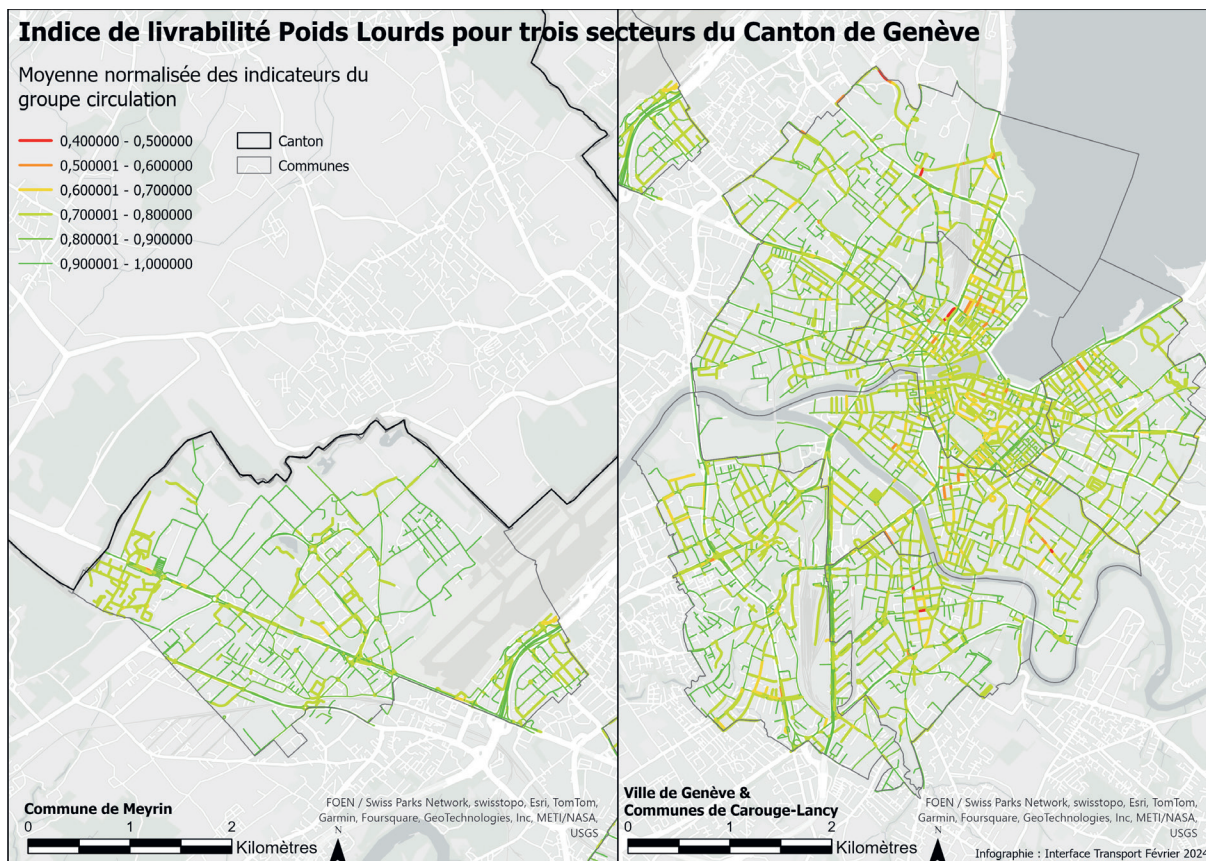
Pour les critères qui touchent à la manutention des marchandises, les cartes (Figure 9) montrent que pour la Ville de Genève et pour les trois typologies de véhicules analysés, il est généralement plus difficile de livrer des adresses situées dans la Vieille-ville, a contrario du quartier des Pâquis par exemple. Le centre-ville est un secteur fortement contraint pour les poids lourds, ceux-ci font face à des restrictions de gabarit ou d'horaire, ainsi qu'à un manque de place de stationnement adaptées. Les vélos-cargos sont les véhicules qui ont le plus de facilité à livrer des marchandises en centre-ville avec, tout de même, des contraintes dues à la dénivellation de certaines rues.

die Ergebnisse in einen bekannten Kontext eingeordnet und kritisch betrachtet werden.

Für den Erreichbarkeitsindex wurden drei Bereiche ausgewählt: die Stadt Genf, Carouge-Lancy und Meyrin (Abbildung 7).

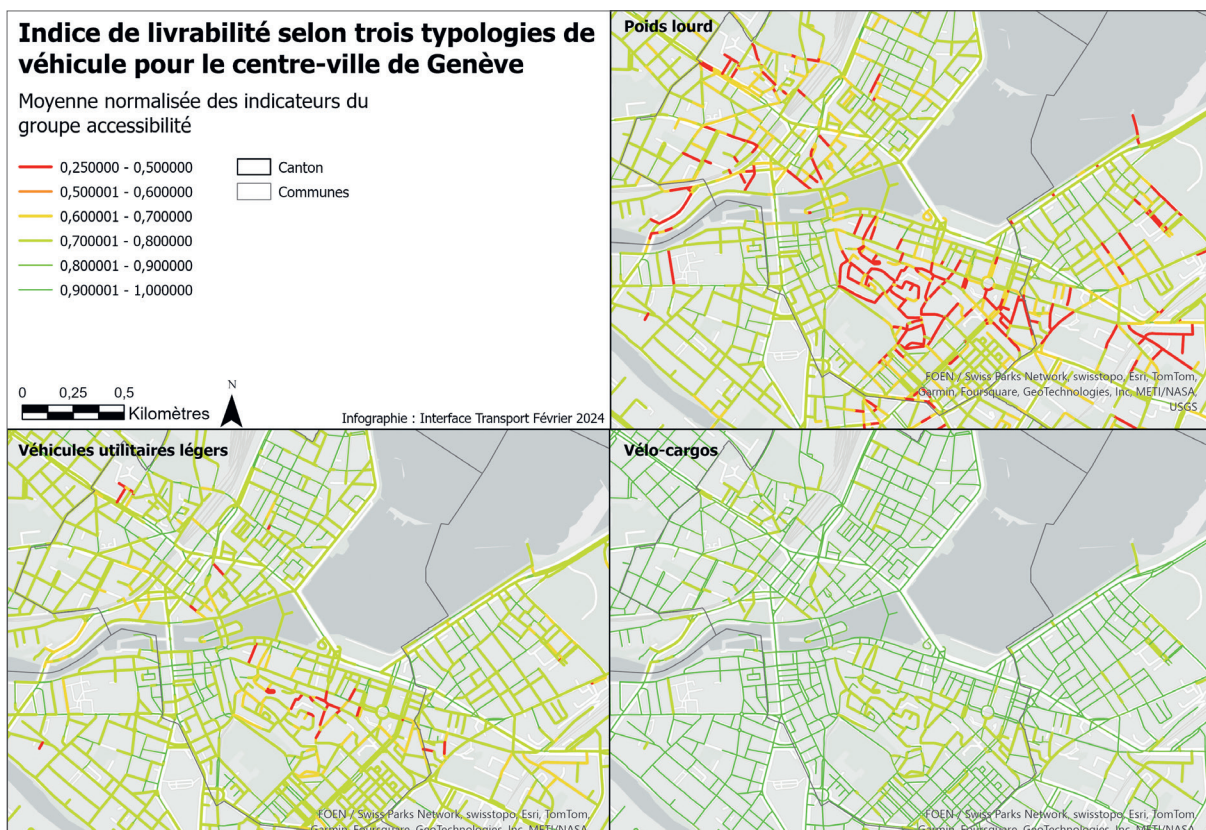
Für Kriterien des Fahrzeugverkehrs zeigen die Analysergebnisse, dass die höher eingeordneten Strassen (primäres Strassennetz) für den LKW-Verkehr günstiger sind. Lokale Zufahrtsstrassen, insbesondere im Stadtzentrum von Genf erzielen hingegen weniger gute Noten. Aus Abbildung 8 geht hervor, dass die Gemeinde Meyrin im Allgemeinen besser abschneidet als die beiden anderen Bereiche. Ähnlich sieht es für leichte Nutzfahrzeuge aus. Für diese Analyse sind die kritischsten Indikatoren die Verfügbarkeit von Verkehrswegen und die Verkehrsüberlastung.

Für die Kriterien zur Handhabung von Waren zeigen die Karten (Abbildung 9) für die Stadt Genf und die drei analysierten Fahrzeugtypen, dass es ganz allgemein schwieriger ist, Adressen in der Altstadt zu beliefern als beispielsweise im Quartier Pâquis. Der Zugang zum Stadtzentrum ist für LKW mit grossen Hindernissen verbunden, da für sie grössenbedingte oder zeitliche Einschränkungen gelten und es an angemessenen Parkplätzen fehlt. Im Stadtzentrum haben Lastenvelos abgesehen von den zu überwindenden Steigungen gewisser Strassen die geringsten Schwierigkeiten bei der Güterlieferung.



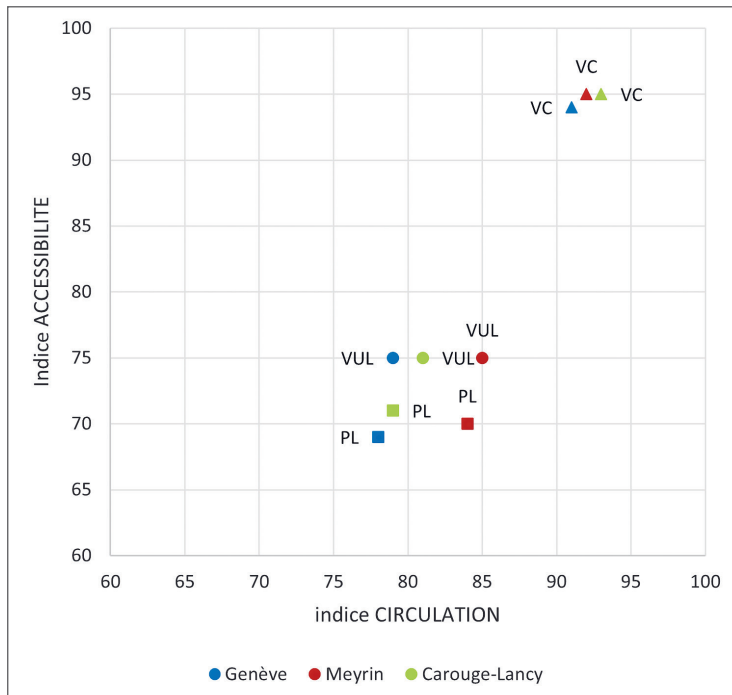
8 | Indice de livrabilité poids lourds pour les trois secteurs analysés. (Source : Interface Transport)

8 | Erreichbarkeitsindex der drei analysierten Bereiche für LKW. (Quelle: Interface Transport)



9 | Indice de livrabilité des trois typologies de véhicules pour le centre-ville de Genève. (Source: Interface Transport)

9 | Erreichbarkeitsindex des Stadtzentrums Genf für die drei Fahrzeugtypen. (Quelle: Interface Transport)



10 | Valeurs de l'Indice de livrabilité pour les applications sur la Ville de Genève, Carouge-Lancy et Meyrin. (Source: Interface Transport).

10 | Werte des Erreichbarkeitsindex für die Anwendungen auf die Stadt Genf, Carouge-Lancy und Meyrin. (Quelle: Interface Transport)

La comparaison des notes globales des trois secteurs, montrées à la Figure 10, donne les éléments suivants:

- Plus le véhicule est léger, plus l'écart entre les deux notes globales se réduit.
- Meyrin obtient la meilleure performance pour son réseau, suivi de Carouge-Lancy, puis la Ville de Genève.
- Le groupe accessibilité varie peu entre les territoires, contrairement au groupe circulation.
- L'analyse sur Carouge-Lancy et la Ville de Genève donnent des tendances similaires qui s'expliquent par leur proximité et leur contexte urbain dense.

«Indice de livrabilité» – quelles suites?

L'Indice de livrabilité est un outil unique car il évalue la performance, non pas du point de vue des véhicules en utilisant les indicateurs usuels des entreprises (tel que les kilomètres parcourus, la consommation de carburant, les temps de livraison, ...), mais du point de vue du réseau routier, offrant ainsi la possibilité d'élargir la réflexion à plusieurs modes de transport et à mettre en commun les intérêts des entreprises de transports et des autorités. Les scripts développés présentent des innovations dans les méthodes de traitements des données spatiales. À l'instar des outils informatiques usuels, les résultats doivent être analysés et sciemment assimilés avec l'ensemble des informations à disposition. Les résultats de l'étude de cas permettent de se rendre compte de l'importance des différentes contraintes, mais également d'ouvrir la discussion sur la place qui est donnée au transport

Aus dem in Abbildung 10 dargestellten Vergleich der Gesamtnoten der drei Bereiche ergibt sich:

- Je plus léger un véhicule est, d'autant moins s'écartent les deux notes globales.
- Meyrin a le meilleur réseau, suivi de Carouge-Lancy et de la ville de Genève.
- Tout au contraire, le groupe accessibilité varie peu entre les territoires, contrairement au groupe circulation.
- L'analyse sur Carouge-Lancy et la ville de Genève donne des tendances similaires qui s'expliquent par leur proximité et leur contexte urbain dense.

«Erreichbarkeitsindex» – wie geht es weiter?

Der Erreichbarkeitsindex ist ein einzigartiges Tool, das die Leistung nicht ausgehend von den Fahrzeugen und anhand der üblichen Indikatoren der Unternehmen (Kilometerleistung, Kraftstoffverbrauch, Lieferdauer usw.) bewertet, sondern ausgehend vom Strassennetz. So werden die Überlegungen auf mehrere Transportarten erweitert und die Interessen der Transportunternehmen und der Behörden gebündelt. Die erstellten Skripte beinhalten Innovationen bei den Verarbeitungsmethoden von Geodaten. Genau wie bei den üblichen EDV-Tools müssen die Ergebnisse analysiert und bewusst mit allen verfügbaren Informationen verglichen werden. Die Ergebnisse dieser Fallstudie zeigen die Bedeutung der unterschiedlichen Anforderungen auf, leiten aber auch eine Diskussion über den Stellenwert des Gütertransports in der Stadt für den jeweiligen Fahrzeugtyp ein. Die Behörden können

de marchandises en ville en fonction des différents types de véhicule. Les autorités peuvent proposer des mesures pour gérer l'utilisation des véhicules de livraison et encourager une organisation des tournées plus pertinente avec les objectifs environnementaux à long terme. Les entreprises qui ne sont pas toujours locales et ne connaissent pas nécessairement les spécificités des lieux peuvent prendre connaissance des contraintes à l'aide du traitement cartographique, elles peuvent aussi prendre l'initiative de repenser leur tournées et fonctionnement.

En termes de planification territoriale, la problématique du dernier kilomètre pour le transport de marchandises fait partie intégrante de la logistique urbaine et doit être prise en compte avec attention, afin que les villes et les entreprises puissent trouver des solutions ensemble pour développer un territoire durable.

Le développement et le suivi de l'indice permettront, entre autres, d'évaluer les politiques publiques en matière de livraison et d'accélérer la diffusion des bonnes pratiques entre les différents territoires analysés. Dans les mois qui viennent plusieurs initiatives sont prévues pour utiliser ces outils d'analyse en Suisse et en France donnant ainsi l'occasion de comparer des politiques publiques et des pratiques différentes face à des défis comparables.

Massnahmen für die Nutzung von Lieferfahrzeugen, eine besser geeignete Tourenplanung und langfristig angelegte Umweltziele vorschlagen. Die nicht immer ortsansässigen Unternehmen kennen nicht unbedingt die umgebungsbedingten Erfordernisse und können diese der kartografischen Aufbereitung entnehmen und so ihre Touren und ihre Betriebsweise selbstverantwortlich überdenken.

In der Raumplanung sind die Probleme der letzten Meile des Gütertransports Bestandteil der Stadtlogistik und müssen sorgfältig berücksichtigt werden, damit die Städte und die Unternehmen gemeinsam Lösungen für einen nachhaltigen Raum entwickeln.

Mit der Entwicklung und Nachverfolgung des Index können beispielsweise die Gesamtpolitik hinsichtlich Lieferungen bewertet und bewährte Praktiken aus den unterschiedlichen analysierten Bereichen schneller verbreitet werden. Für die kommenden Monate sind mehrere Initiativen vorgesehen, um diese Analyseinstrumente in der Schweiz und in Frankreich einzusetzen. Das Ziel ist es, die Politik und die unterschiedliche Handhabung bei vergleichbaren Herausforderungen vergleichen zu können.

Bibliographie

- K. Ewedaïro, P. Chhetri, et F. Jie, «Estimating transportation network impedance to last-mile delivery: A Case Study of Maribyrnong City in Melbourne», *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 29, no 1, p. 110–130, févr. 2018, doi: 10.1108/IJLM-10-2016-0247.
- N. Geroliminis, «Vehicle emissions in congested networks», présenté à CIVIL-457 Fundamental of traffic operation and control, École polytechnique fédérale de Lausanne, novembre 2021.
- K. Jacobs, S. Warner, M. Rietra, et L. Mazza, «Last Mile Delivery Challenge», Capgemini Research Institute, 2019.
- République et Canton de Genève, «Plan d'action marchandises et logistique urbaine 2019–2023». 2019.
- F. Clerc et O. Gallay, «STRATÉGIE CANTONALE DU TRANSPORT DE MARCHANDISES», Département des infrastructures et des ressources humaines (DIRH) du Canton de Vaud, mai 2021.
- T. Deloison, E. Hannon, A. Huber, et B. Held, «The Future of the Last-Mile Ecosyste ». *World Economic Forum (WEF)*, janvier 2022.