

Elektrische Mikromobilität in Städten

E-Trottinets und E-Bikes haben sich in den letzten Jahren in die Verkehrsbilder von Schweizer Städten eingefügt. Doch insbesondere zu den E-Trottinets gibt es noch wenig Grundlagen, die deren Folgen auf das Mobilitätsverhalten, den Gesamtverkehr und die Ökobilanz aufzeigen. Im Rahmen einer CAS-Arbeit wurden heute eingesetzte Fahrzeuge analysiert, Nachfrageeffekte beschrieben und die Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen untersucht. Für die Stadt Zürich wurden zwei Szenarien entwickelt und mittels einer Sensitivitätsbetrachtung die relevanten Einflussgrössen bzgl. Treibhausgasemissionen bestimmt.



VON
SARAH WEBER
MSc ETH Umweltnaturwissenschaften,
SBB, Projektleiterin Umwelt/Nachhaltigkeit



VON
PHILIPP MOSCA
M.A. HSG, BAV, Wissenschaftlicher
Mitarbeiter Politik/Direktionsgeschäfte

Hintergrund

Elektrisch betriebene Kleinfahrzeuge wie Trottinets, Velos, Segways, Skateboards usw. sind alle Bestandteile der Mikromobilität.^[1] Unter diesem Begriff werden Verkehrsmittel zusammengefasst, die kaum grösser als die Nutzenden selbst sind. Entsprechende Fahrzeuge gibt es sowohl im Privatbesitz als auch im kommerziellen Sharing-Angebot. Die Anbieter geteilter Mikromobilität heissen PubliBike, Tier, Voi, Lime, Bird usw. Letztere breiten sich derzeit in grösseren Schweizer Städten aus und führen zu verschiedenen verkehrs- und stadtplanerischen sowie politischen Herausforderungen.^[2] So ist der

Micromobilité électrique dans les villes

Ces dernières années, les trottinettes et les vélos électriques ont fait leur apparition dans le trafic des villes suisses. Cependant, en particulier pour les trottinettes électriques, nous disposons de peu d'éléments mettant en évidence leurs effets sur les comportements en matière de mobilité, le trafic dans son ensemble et le bilan écologique. Dans le cadre d'une étude effectuée par le CAS, les véhicules utilisés actuellement sont analysés, les effets sur la demande sont décrits et les répercussions sur les émissions de CO₂ étudiées. Deux scénarios ont été élaborés pour la ville de Zurich et les facteurs d'influence pertinents concernant les émissions de gaz à effet de serre ont été déterminés au moyen d'une évaluation de la sensibilité.



VON
REMO BAUMBERGER
MSc ETH Bau-Ing., EBP Schweiz AG,
Teamleiter Mobilitätsinnovationen

Contexte

Les petits véhicules électriques comme les trottinettes, les vélos, les gyropodes, les skateboards, etc. font tous partie intégrante de la micromobilité.^[1] Ce terme regroupe tous les moyens de transport qui sont à peine plus grands que les utilisateurs. Ces véhicules sont la propriété de leur utilisateur, mais sont aussi disponibles sous forme d'offres commerciales partagées. Parmi les prestataires de micromobilité partagée figurent PubliBike, Tier, Voi, Lime, Bird, etc. Le développement actuel de ces prestataires dans les grandes villes suisses entraîne divers défis en termes d'urbanisme, de planification du trafic et sur le plan poli-



1 | E-Trotinetts als neue Mobilitätsform (Foto: iStock).

1 | Les trottinettes électriques, nouvelle forme de mobilité (photo: iStock).

zeit noch nicht klar, ob der Betrieb der Fahrzeuge Nachhaltigkeitszielen gerecht wird.^[3] Auch wenn erste Studien zur Schweiz vorliegen, worüber jüngst in «Strasse & Verkehr» (Ausgabe 1-2_2022) berichtet wurde, gibt es derzeit noch bedeutende Unsicherheiten bei der Lebenszyklusbetrachtung von entsprechenden Fahrzeugen – beispielsweise bei der Substitution von Verkehrsmitteln oder bei den betrieblichen Fahrten von Sharing-Flotten.

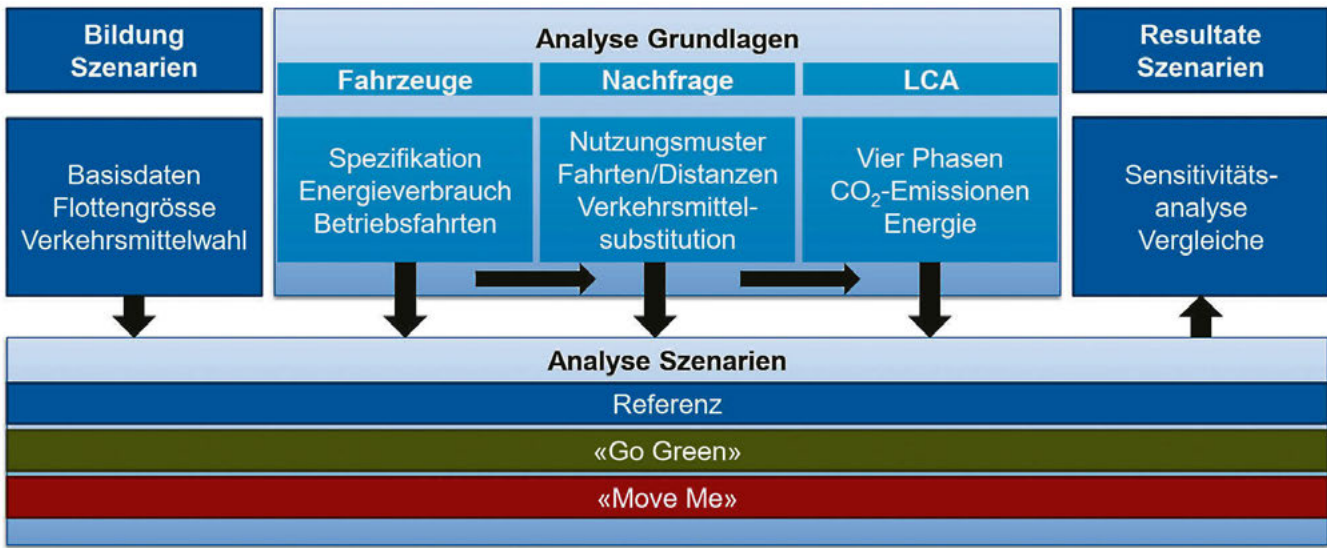
Fragestellungen

Ziel der Arbeit war es, auf Basis vorhandener Literatur und Daten mit eigenen Berechnungen eine Wirkungsabschätzung von E-Trotinetts- und E-Bike-Flotten anzustellen. Dabei wurden drei Themenblöcke vertieft betrachtet: Die technischen Eigenschaften der eingesetzten Fahrzeuge, die heute bekannten Nutzungsmuster bzw. Nachfrageeffekte und die Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus. Hierzu wurden empirische Daten zu getätigten Fahrten, zu Flotten von Sharing-Anbietern und zur Verkehrsmittelwahl exemplarisch für die Stadt Zürich zusammengetragen. Mit den gesammelten Grundlagen wurden ein Referenz- und zwei Nutzungsszenarien entwickelt, die Folgen der Mikromobilität mit einem Modell abgeschätzt und mittels einer Sensitivi-

tique.^[2] Ainsi, à l'heure actuelle, on ne sait pas exactement si l'utilisation de ces véhicules s'inscrit dans les objectifs de durabilité.^[3] Même si de premières études, récemment abordées dans «Route & Trafic» (édition 1-2_2022), existent pour la Suisse, de grandes incertitudes persistent dans l'étude du cycle de vie de ces véhicules, notamment en ce qui concerne la substitution de moyens de transport ou les trajets opérationnels des flottes partagées.

Problématiques

L'objectif de cette étude était de présenter, par des calculs, une estimation de l'impact des trottinettes et vélos électriques sur la base des données et des ouvrages disponibles. Trois domaines thématiques ont été analysés de manière approfondie: les caractéristiques techniques des véhicules utilisés, les modèles d'utilisation connus à ce jour et/ou les effets sur la demande et les émissions de gaz à effet de serre pendant le cycle de vie complet. À cet effet, des données empiriques sur les trajets effectués, sur les flottes de prestataires d'offres partagées et sur le choix du moyen de transport ont été compilées pour la ville de Zurich. Avec les données de base collectées, un scénario de référence et deux scénarios d'utilisation ont été élaborés, les effets de la micromobilité ont été évalués avec un modèle



2 | Studiendesign der CAS-Arbeit.

2 | Conception de l'étude effectuée par le CAS.

tätsanalyse die wesentlichen Einflussgrössen auf die Menge der Treibhausgasemissionen bestimmt. Daraus wurden Empfehlungen für Schweizer Städte abgeleitet. Verkehrssicherheit, Regulierung und Geschäftsmodelle waren nicht Teil der Untersuchung (Abb. 2).

Eingesetzte Fahrzeuge

Aus der Fahrzeuganalyse der E-Trotinetts zeigt sich, dass noch beträchtliches Potenzial zur Optimierung der Energieeffizienz der Fahrzeuge besteht. Für die in Zürich verfügbaren Modelle an E-Trotinetts konnte ein mittlerer Energieverbrauch von 12,3 Wh/km (private Fahrzeuge) bzw. 12,7 Wh/km (Sharing-Fahrzeuge) ermittelt werden. Dies ergibt bei vollem Akku eine mittlere Reichweite von 24 km (privat) bzw. 40 km (Sharing). Je nach Steigung kann der Verbrauch wesentlich höher ausfallen.^[4] Die Nutzungsmuster in Zürich zeigen jedoch, dass mit den E-Trotinetts eher flaches Terrain befahren wird. Dementsprechend fallen Steigungen beim Energiebedarf wenig ins Gewicht. Sehr relevant sind hingegen die Standby-Verluste von Boardcomputer, Internetverbindung und Beleuchtung. Diese können je nach Nutzungsintensität rund 40 % der Batterieladung konsumieren.^[5]

Bei den Fahrzeugen im Sharing-Betrieb fallen zusätzlich betriebliche Fahrten zum Einsammeln, Warten und zur Neuverteilung der Fahrzeuge sowie für den Akkutauch an. Hierfür konnten die Bewegungsdaten von Sharing-Flotten in Zürich analysiert werden. Daraus wurde abgeschätzt, dass bei den Fahrzeugbewegungen etwa ein Drittel der Distanz

et les principaux facteurs influant sur la quantité des émissions de gaz à effet de serre ont été déterminés au moyen d'une analyse de sensibilité. Des recommandations ont ensuite été formulées pour les villes suisses. La sécurité routière, la régulation et les modèles économiques ne faisaient pas partie de cette étude (fig. 2).

Véhicules utilisés

L'analyse des trottinettes électriques montre qu'il existe encore un vaste potentiel pour optimiser l'efficacité énergétique de ces véhicules. Une consommation énergétique moyenne de 12,3 Wh/km (véhicules privés) et/ou de 12,7 Wh/km (véhicules partagés) a été calculée pour les modèles de trottinettes électriques disponibles à Zurich. Avec une batterie complètement chargée, l'autonomie moyenne est de 24 km (véhicules privés) et/ou de 40 km (véhicules partagés). En fonction de la pente, la consommation peut être sensiblement plus élevée.^[4] Toutefois, les modèles d'utilisation constatés à Zurich montrent que les trottinettes électriques sont utilisées sur des terrains plutôt plats. Les pentes jouent donc un rôle mineur dans la consommation énergétique. En revanche, les pertes liées au mode veille de l'ordinateur de bord, la connexion Internet et l'éclairage ont une incidence très élevée. En fonction de l'intensité d'utilisation, ces équipements peuvent consommer jusqu'à 40 % de la charge de la batterie.^[5]

Pour les véhicules partagés, il faut aussi prendre en compte les trajets opérationnels pour le regroupement, la maintenance et la redistribution des véhicules et pour le remplacement des batteries. Les données de mouvement des flottes partagées à Zurich ont pu être analysées. D'après cette analyse, on estime qu'environ

auf betriebliche Fahrten und zwei Drittel auf Kundenfahrten zurückzuführen sind. Je nach Anbieter fallen diese Anteile jedoch sehr unterschiedlich aus. Der Anteil der Betriebsfahrten hängt davon ab, ob die Fahrzeuge stationsgebunden sind, ob Anreizsysteme für Kunden bestehen, Fahrzeuge an vorgegebenen Orten abzustellen, und welche betrieblichen Algorithmen eingesetzt werden.

Nutzung und Nachfrage

Zu den geteilten Fahrzeugen gehen folgende Merkmale aus der Literatur hervor: E-Trottinets werden vor allem für kurze (<1,5km) und flache Strecken benutzt, meist in der Innenstadt oder bei Universitäten. Sie weisen im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln erhöhte Nutzungsanteile zu Randzeiten und in der Nacht sowie für Freizeitwege auf. Zudem spielen eine trockene Witterung und kurze Zugangswege eine grosse Rolle. Die Nutzungsmuster von E-Bikes weichen davon ab: E-Bikes werden vor allem für längere Strecken (1 bis 5 km), in der Innenstadt selbst oder zwischen der Innenstadt und anderen Stadtgebieten benutzt. Die Nachfrage ist in Spitzenzeiten am höchsten, da E-Bikes häufiger für Pendlerwege eingesetzt werden. Sie werden sowohl bergauf als auch bergab und vor allem in Zeiten ohne Niederschlag benutzt. E-Trottinets und E-Bikes dürften in 30 bis 50 % der Fahrten mit dem ÖV kombiniert werden.^[6]

Bei der Frage nach den substituierten Verkehrsmitteln spielt es eine grosse Rolle, ob die Fahrzeuge in einem Sharing-Modell eingebunden sind.^[2] Kurzfristig werden mit der geteilten Mikromobilität vor allem der Fuss-/Veloverkehr oder der ÖV substituiert und nicht der MIV. Zudem entstehen auch induzierte Fahrten. Längerfristig könnte das Potenzial der Mikromobilität aber grösser sein, vor allem wenn die Multimodalität zunimmt oder mehr intermodale Reiseketten durchgeführt werden. Insbesondere E-Trottinets dürften eher autoaffinere Nutzer/innen ansprechen.^[6] Die geteilte Mikromobilität kann zudem eine sinnvolle Ergänzung zum ÖV-Angebot darstellen, und zwar dort, wo es Schwächen hat – beispielsweise zu Randzeiten, bei Erschliessungslücken oder auf Tangentialwegen.

Erste Studien für Zürich gehen davon aus, dass die Effekte hinsichtlich ÖV-Ergänzung und ÖV-Substitution etwa gleich gross sind.^[6] Hierzu braucht es aber noch mehr Untersuchungen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Nutzung der geteilten Mikromobilität dazu führen dürfte, dass auch private E-Trottinets und E-Bikes angeschafft werden, die einen bedeutend höheren Anteil von substituierten MIV-Fahrten aufweisen.^[2]

ron un tiers des trajets des véhicules sont liés à leur exploitation et deux tiers sont des trajets parcourus par les utilisateurs. Ces parts sont très variables d'un prestataire à l'autre. La part des trajets opérationnels dépend de plusieurs facteurs: véhicules rattachés ou non à une station, mise en place de systèmes incitatifs pour les clients, dépôt des véhicules à des endroits prédéfinis, types d'algorithmes opérationnels utilisés.

Utilisation et demande

D'après les ouvrages spécialisés, les véhicules partagés présentent les caractéristiques suivantes: les trottinettes électriques sont surtout utilisées pour des trajets courts (<1,5 km) sur terrain plat, principalement en centre-ville ou près des universités. Par rapport aux autres moyens de transport, elles présentent des parts d'utilisation élevées aux heures creuses et pendant la nuit et sont majoritairement utilisées pour les loisirs. Des conditions météorologiques sans pluie et des trajets courts sont également des facteurs importants. Les modèles d'utilisation des vélos électriques diffèrent de ceux des trottinettes électriques: ils sont surtout utilisés pour des trajets plus longs (de 1 à 5 km), en centre-ville ou entre ce dernier et d'autres zones urbaines. La demande atteint son maximum aux heures de pointe, car les vélos électriques sont souvent utilisés pour des trajets pendulaires. Ils sont utilisés à la fois dans les montées et les descentes, surtout en l'absence de précipitations. Les trottinettes et les vélos électriques peuvent être combinés avec les TP dans 30 à 50% des trajets.^[6]

Concernant la question des moyens de transport substitués, l'appartenance ou non des véhicules à un modèle de partage a une très grande importance.^[2] À court terme, la micromobilité remplace surtout le trafic piétonnier et cycliste ou les TP, mais pas le TIM. Les trajets induits doivent aussi être pris en compte. À long terme, le potentiel de la micromobilité pourrait s'accroître, surtout si la multimodalité se développe ou si le nombre de chaînes de voyage intermodales effectuées augmente. Les trottinettes électriques devraient plutôt séduire les utilisateurs/trices ayant un lien plus fort avec la voiture.^[6] La micromobilité partagée peut aussi compléter judicieusement l'offre des TP là où elle présente des lacunes, par exemple aux heures creuses, aux endroits où il n'y a pas de desserte ou sur les trajets tangentiels.

D'après de premières études pour Zurich, on estime que les effets de la micromobilité pour compléter et pour remplacer les TP sont à peu près équivalents.^[6] Des analyses supplémentaires sont nécessaires pour le confirmer. Il faut également souligner que l'utilisation de la micromobilité partagée pourrait stimuler les achats de trottinettes et vélos électriques privés qui présentent une part nettement plus élevée de trajets de substitution du TIM.^[2]

Lebenszyklusbetrachtung

Die Ökobilanz der Mikromobilität zeigt, dass in der Produktionsphase der Fahrzeuge im Vergleich zu den weiteren Phasen viel Treibhausgasemissionen entstehen.^[7] Damit rückt die Lebensdauer der Fahrzeuge in den Fokus, denn es gilt: Je kürzer die Nutzungsdauer der Fahrzeuge, umso grösser ist der Anteil der Produktion bei den CO₂-Emissionen pro Kilometer. Neben den Distanzen der Betriebsfahrten spielt auch die Art der Betriebsfahrzeuge eine wichtige Rolle, E-Fahrzeuge haben eine bessere Treibhausgasbilanz als Fahrzeuge, die mit Diesel betrieben werden. Über den Unterhalt und die Entsorgung der E-Trotinetts ist noch wenig bekannt, und die Unsicherheit über entsprechende energetische oder klimatische Wirkungen ist gross. Der Verkauf von Fahrzeugen aus dem Sharing-Betrieb an Private, wie er derzeit teilweise bei der Flottenerneuerung beobachtet werden kann, kann die Ökobilanz pro Kilometer verbessern, wenn danach noch weitere Distanzen zurückgelegt werden.

Betrachtung von Szenarien

In einer Szenarienbetrachtung wurden die Effekte für die Stadt Zürich in naher Zukunft (Jahr 2025) abgeschätzt. Dabei wurde der Fokus auf den Quell-, Ziel- und Binnenverkehr der Stadt gelegt. Im **Referenzszenario** entstehen an einem durchschnittlichen Werktag in Zürich über alle Verkehrsmittel ca. 3,4 Mio. Personenwege und eine Verkehrsleistung von ca. 27 Mio. Personenkilometer.

Im **Szenario «Go Green»** (ökologisch ausgerichtete Mikromobilitätswelt) wurde angenommen, dass die Mikromobilität eine optimale Ergänzung zum ÖV darstellt und zu keiner Substitution von Bus und Bahn führt. Zudem wurden maximal 1 % induzierte Fahrten sowie ein hoher Anteil an privaten E-Trotinetts und E-Bikes angenommen. Auf dem städtischen Gebiet gibt es bei «Go Green» nur je drei Flotten von geteilten E-Trotinetts und E-Bikes.

Diesem Szenario steht das **Szenario «Move Me»** (konsumorientierte Mikromobilitätswelt) gegenüber, in dem alle Verkehrsmittel von der Mikromobilität substituiert werden und mit 10 % deutlich mehr induzierte Fahrten entstehen. Der Anteil von privaten E-Trotinetts und E-Bikes ist tief, dafür gibt es in diesem Szenario zehn Anbieter von geteilten E-Trotinetts und sechs Anbieter von geteilten E-Bikes.

Im Szenario «Go Green» werden insgesamt 1,5 % aller Personenwege der Stadt Zürich mit E-Trotinetts und E-Bikes getätigt. Dies entspricht insgesamt ca. 0,5 %

Prise en compte du cycle de vie

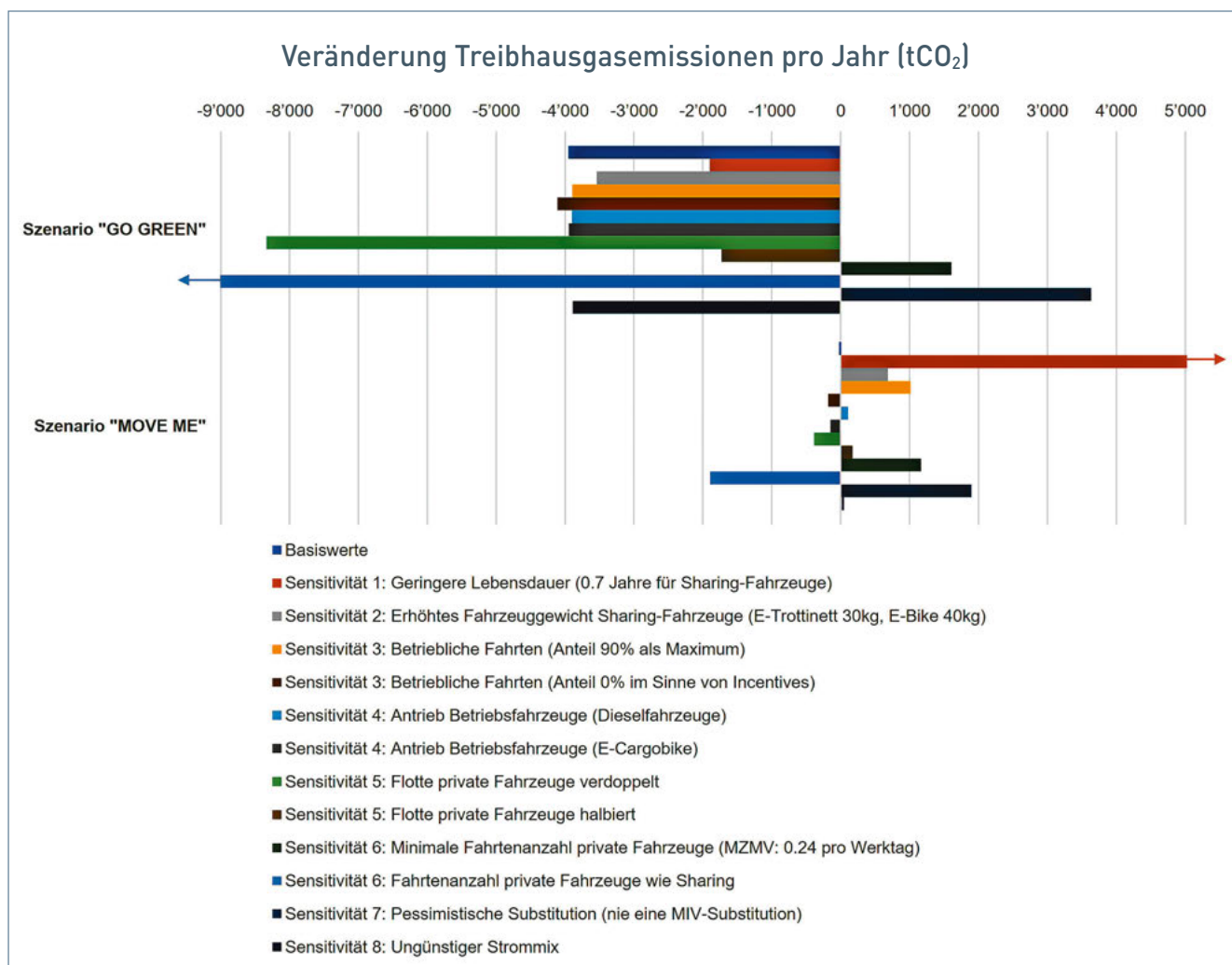
Le bilan écologique de la micromobilité montre que la phase de production des véhicules concernés génère beaucoup d'émissions de gaz à effet de serre par rapport aux autres phases.^[7] La durée de vie des véhicules est donc un paramètre primordial, car le constat suivant s'applique: plus la durée d'utilisation des véhicules est courte, plus la part de la production dans les émissions de CO₂ par kilomètre est élevée. En plus de la longueur des trajets opérationnels, le type de véhicule d'exploitation utilisé a aussi une grande importance: les véhicules électriques affichent un meilleur bilan en termes d'émissions de gaz à effet de serre que les véhicules Diesel. Peu de données sont disponibles sur l'entretien et l'élimination des trotinettes électriques et une grande incertitude persiste quant aux effets sur la consommation d'énergie ou le climat. Lorsqu'une entreprise proposant une offre partagée vend ses véhicules à des particuliers, comme on peut l'observer actuellement lors du remplacement de la flotte, le bilan écologique par kilomètre peut être amélioré si les véhicules sont utilisés pour d'autres trajets par la suite.

Étude des scénarios

Dans l'étude d'un scénario, les effets pour la ville de Zurich dans un avenir proche (2025) ont été évalués. L'étude s'est plus spécialement penchée sur le trafic de départ, de destination et le trafic intérieur de la ville. Dans le **scénario de référence**, pour tous les moyens de transport, environ 3,4 millions de trajets de personnes sont effectués à Zurich lors d'un jour ouvré type, tandis que les prestations de transport se chiffrent à environ 27 millions de personnes-kilomètres.

Dans le **scénario «Go Green»** (environnement de micromobilité orienté sur l'écologie), on part du principe que la micromobilité complète idéalement les TP et qu'elle ne remplace pas le bus ni le train. Un maximum de 1 % de trajets induits et une part élevée de trotinettes et vélos électriques privés ont aussi été utilisés comme hypothèse. Dans la zone urbaine, il existe pour le scénario «Go Green» seulement trois flottes de trotinettes partagées et trois flottes de vélos électriques partagés.

Ce scénario est comparé au **scénario «Move Me»** (environnement de micromobilité orienté sur la consommation), dans lequel tous les moyens de transport sont remplacés par la micromobilité et dans lequel le nombre de trajets induits est beaucoup plus élevé (10 %). La part de trotinettes et vélos électriques privés est faible; ce scénario comporte donc dix prestataires de trotinettes électriques partagées et six prestataires de vélos électriques partagés.



3 | Veränderung der Treibhausgasemissionen in der Stadt Zürich zwischen den Szenarien «Go Green» bzw. «Move Me» und dem Referenzszenario ohne Mikromobilität, Sensitivitätsanalyse der Inputparameter.

3 | Modification des émissions de gaz à effet de serre dans la ville de Zurich entre les scénarios «Go Green» et/ou «Move Me» et le scénario de référence sans micromobilité, analyse de sensibilité des paramètres d'entrée.

aller Personenkilometer, da die zurückgelegten Wege im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln kurz sind. Im Szenario «Move Me» werden insgesamt 1,9% aller Personenwege der Stadt Zürich mit E-Trottinets und E-Bikes getätigt. Dies entspricht insgesamt ca. 0,6% aller Personenkilometer. Damit zeigt sich, dass in beiden Szenarien die Bedeutung der elektrischen Mikromobilität bescheiden bleibt. Es ist keine Revolution im Verkehrssystem zu erwarten. Hierfür müssten deutlich grössere Flotten (privat und geteilt) mit hoher Attraktivität vorhanden sein.

Für die beiden Szenarien wurden mithilfe der Resultate aus der Ökobilanz die gesamten Treibhausgasemissionen auf ein Jahr hochgerechnet (Abb. 3). Gegenüber dem Referenzszenario reduzieren sich im Szenario «Go Green» die CO₂-Emissionen um rund 3900 Tonnen, im Szenario «Move Me» entstehen etwa gleich viele CO₂-Emissionen wie im Referenz-

Dans le scénario «Go Green», 1,5% de tous les trajets de personnes dans la ville de Zurich sont effectués avec des trottinettes et vélos électriques. Cela correspond à environ 0,5% du total de kilomètres-personnes, car les trajets parcourus sont courts par rapport aux autres moyens de transport. Dans le scénario «Move Me», 1,9% des trajets de personnes dans la ville de Zurich sont effectués avec des trottinettes et vélos électriques. Cela correspond à environ 0,6% du total de kilomètres-personnes. Ces chiffres montrent que dans les deux scénarios, l'importance de la micromobilité électrique reste modeste. Il ne faut pas s'attendre à une révolution dans le système des transports. Pour cela, il faudrait des flottes nettement plus importantes (privées et partagées) avec une attractivité élevée.

Les émissions de gaz à effet de serre totales ont été extrapolées sur une année pour les deux scénarios à l'aide des résultats du bilan écologique (fig. 3). Dans le scénario

szenario. Aufgrund der hohen Unsicherheiten der Inputparameter wurden die Resultate einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Dabei zeigen sich vier Inputparameter als besonders relevant:

- Wird die Lebensdauer der Sharing-Fahrzeuge gemäss Sensitivität 1 von drei Jahren auf weniger als ein Jahr reduziert, nehmen die Treibhausgasemissionen deutlich zu, sodass die Emissionsvorteile im Szenario «Go Green» mehr als halbiert werden. Im Szenario «Move Me» steigen die Emissionen aufgrund der grossen Bedeutung von Sharing-Angeboten sehr stark an. Damit wird klar, dass die Lebensdauer der Fahrzeuge die zentrale Einflussgrösse bei der Ökobilanz von Sharing-Betrieben bildet.
- Die gemäss Sensitivität 3 betrachteten Betriebsfahrten im Sharing-Betrieb (Einsammeln, Aufladen und Neuverteilen) führen vor allem im Szenario «Move Me» zu deutlichen Veränderungen. Würden in einer extremen Betrachtung pro getätigter Kundenfahrt 0,9 Betriebsfahrten entstehen, nehmen die Emissionen deutlich zu.
- Die Fahrtenanzahl von privaten Fahrzeugen der Mikromobilität (Sensitivität 6) hat aufgrund der signifikanten MIV-Substitution einen wesentlichen Einfluss. Werden nur sehr wenige Fahrten mit privaten Fahrzeugen getätigt, kann auch im Szenario «Go Green» eine negative Ökobilanz entstehen. Werden hingegen deutlich mehr Fahrten mit privaten Fahrzeugen getätigt, könnte die Ökobilanz in beiden Szenarien klar verbessert werden.
- Eine pessimistische Verkehrsmittelsubstitution, die nie zu einer Substitution von MIV-Fahrten führt (Sensitivität 7), lässt die Treibhausgasemissionen stark steigen. Hier wird auch deutlich, dass die Ökobilanz-Vorteile im Szenario «Go Green» vor allem auf die MIV-Substitution zurückzuführen sind.

Fazit und Empfehlungen

Es sind Szenarien denkbar, in denen der Einsatz von E-Trottinetts und E-Bikes – sowohl private Fahrzeuge als auch solche im Sharing-Modell – ökologisch sinnvoll ist. Die elektrische Mikromobilität schneidet aber nicht grundsätzlich besser ab als andere Mobilitätsformen. Wesentlich für eine gute Ökobilanz sind die Lebensdauer der Fahrzeuge, der Anteil der betrieblichen Fahrten (Einsammeln, Aufladen und Neuverteilen), die substituierten Ver-

«Go Green», les émissions de CO₂ sont inférieures d'environ 3900 tonnes par rapport au scénario de référence; dans le scénario «Move Me», elles sont à peu près équivalentes à celles du scénario de référence. Les résultats ont été soumis à une analyse de sensibilité en raison des paramètres d'entrée très incertains. Dans ce cadre, quatre paramètres d'entrée sont particulièrement importants:

- Si, conformément à la sensibilité 1, la durée de vie des véhicules partagés est réduite de trois ans à moins d'un an, les émissions de gaz à effet de serre augmentent nettement, à tel point que les avantages en termes d'émissions sont plus que divisés par deux dans le scénario «Go Green». Dans le scénario «Move Me», les émissions augmentent très fortement du fait de l'importance élevée des offres partagées. Cela montre clairement que la durée de vie des véhicules est le principal facteur qui influe sur le bilan écologique des entreprises proposant des offres partagées.
- Les trajets opérationnels étudiés selon la sensibilité 3 dans le modèle partagé (collecte, recharge et redistribution des véhicules) entraînent des changements importants, surtout dans le scénario «Move Me». Si, dans un cas extrême, on part sur une hypothèse de 0,9 trajet opérationnel par trajet client parcouru, les émissions augmentent sensiblement.
- Le nombre de trajets effectués par des véhicules de micromobilité privés (sensibilité 6) a une influence élevée en raison du puissant effet de substitution du TIM. Si très peu de trajets sont effectués avec des véhicules privés, le bilan écologique peut être négatif, également dans le scénario «Go Green». En revanche, si un nombre nettement plus élevé de trajets est effectué avec des véhicules privés, le bilan écologique pourrait être sensiblement amélioré dans les deux scénarios.
- Dans un scénario pessimiste où aucune substitution des trajets en TIM (sensibilité 7) ne se produit, les émissions de gaz à effet de serre sont en forte hausse. Ce constat montre clairement que les avantages écologiques dans le scénario «Go Green» sont principalement liés à la substitution des trajets en TIM.

Conclusion et recommandations

Des scénarios dans lesquels l'utilisation de trottinettes et vélos électriques privés ou partagés est judicieuse sur le plan écologique sont envisageables. Cependant, la micromobilité électrique n'affiche pas un bilan sensiblement meilleur que d'autres formes de mobilité. La durée de vie des véhicules, la part des trajets opérationnels (collecte, recharge et redistribution des véhicules), les moyens de

kehrsmittel sowie die tatsächlich getätigten Fahrten mit den privaten Fahrzeugen.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass sich die elektrische Mikromobilität vor allem für Gebiete mit geringer ÖV-Angebotsgröße eignet. Diese kann auch nur zeitlich (Nachtstunden) oder räumlich (Tangentialverbindungen) eingeschränkt sein. E-Bikes sind zudem gut geeignet, topografische Hindernisse zu überwinden. Bei E-Trottinets gibt es Hinweise, dass autoaffinere Nutzende angesprochen werden können. Auch die Förderung von privaten Mikromobilitätsfahrzeugen kann sinnvoll sein, wenn die Lebensdauer und die tatsächlich abgewickelten Fahrten pro Fahrzeug hoch ausfallen.

Wir empfehlen Städten, die Regulierung der geteilten Mikromobilität nicht nur hinsichtlich der Nutzung des öffentlichen Raums, sondern auch auf Basis der Ökobilanz zu entwickeln. Für Sharing-Fahrzeuge könnte ein verpflichtendes Monitoring der wichtigsten Parameter eingeführt werden (beispielsweise Anteil sowie Distanz von betrieblichen Fahrten). Zudem könnten Vorgaben zu Lebensdauer der Geräte und dem Recycling der Fahrzeuge am Lebensende definiert werden. Die Verwendung von emissionsarmen Betriebsfahrzeugen könnte ebenfalls als Auflage eingebracht werden. Eine vorteilhafte Verkehrsmittelkombination resp. -substitution kann gefördert werden, wenn Flächen an den «richtigen» Orten bereitgestellt werden (z.B. Gebiete mit tiefer ÖV-Erschließungsgüte). Aus Sicht der Autorin/en ist die Einführung der neuen Mikromobilitätsangebote kein Selbstzweck, vielmehr haben diese Angebote die Ziele von städtischen Mobilitäts-, Verkehrs- und Klimastrategien zu erfüllen.

transport substitués et les trajets effectivement parcourus avec des véhicules privés sont des aspects essentiels pour garantir un bilan écologique favorable.

De manière générale, on peut dire que la micromobilité électrique est surtout adaptée dans les zones avec une offre de TP de faible qualité. Cette offre peut aussi être limitée uniquement sur le plan temporel (heures de nuit) ou spatial (liaisons tangentielles). Les vélos électriques sont en outre bien adaptés pour surmonter les obstacles topographiques. Concernant les trottinettes électriques, des indications montrent qu'elles peuvent séduire les utilisateurs ayant un lien plus fort avec la voiture. Le subventionnement de véhicules de micromobilité privés peut également être judicieux lorsque la durée de vie et les trajets effectivement parcourus par véhicule sont élevés.

Lors de la planification de la micromobilité partagée et sa régulation, nous recommandons aux villes de ne pas uniquement tenir compte de l'utilisation de l'espace public, mais de se baser aussi sur le bilan écologique. Un suivi obligatoire des principaux paramètres pourrait être introduit pour les véhicules partagés (par exemple, part des trajets opérationnels et distance représentée par ces derniers). Des directives sur la durée de vie des véhicules et sur leur recyclage en fin de vie pourraient également être définies. L'utilisation de véhicules d'exploitation faibles en émissions pourrait également être une condition. Une combinaison et/ou une substitution avantageuse des moyens de transport peut être encouragée si des surfaces sont mises à disposition aux «bons» endroits (par exemple dans les zones avec une faible qualité de desserte par les TP). Selon les auteurs/autrices, l'introduction de nouvelles offres de micromobilité n'est pas une fin en soi. Ces offres doivent avant tout répondre aux objectifs des stratégies concernant la mobilité urbaine, les transports et le climat.

Quellen

- [1] O'Hern, S., Estgfaeller, N., 2020. A Scientometric Review of Powered Micromobility. *Sustainability* 12, 9505. <https://doi.org/10.3390/su12229505>
- [2] Reck, D.J., 2021. Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. Presented at the 21st Swiss Transport Research Conference (STRC), Ascona.
- [3] Milakis, D., Gedhardt, L., Ehebrecht, D., Lenz, B., 2020. Is micro-mobility sustainable? An overview of implications for accessibility, air pollution, safety, physical activity and subjective wellbeing, in: *Handbook of Sustainable Transport*. Edward Elgar Publishing, pp. 180–189. <https://doi.org/10.4337/9781789900477.00030>
- [4] Genikomsakis, K.N., Mitrentsis, G., Savvidis, D., Ioakimidis, C.S., 2017. Energy consumption model of electric scooter for routing applications: Experimental validation, in: 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Presented at the 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE, Yokohama, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2017.8317724>
- [5] Wang Y. Wu, J. Chen K. Liu P., 2021. Are shared electric scooters energy efficient? *Communications in Transportation Research*. Volume 1, December 2021. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2021.100022>
- [6] Moser, C., Artho, J., Capillo, M., Bibic, V., 2021. Wirkung von Sharing-Angeboten auf Mobilitätsgewohnheiten und -werkzeuge; Forschungsprojekt FP-1.27 Schlussbericht, Mai 2021; Energieforschung Stadt Zürich.
- [7] Severengiz, S., Finke, S., Schelte, N., Wendt, N., 2020. Life Cycle Assessment on the Mobility Service E-Scooter Sharing, in: 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS). Presented at the 2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS), IEEE, Dortmund, Germany, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/E-TEMS46250.2020.9111817>