

Addressing Large Challenges with Small Infrastructure – Envisioning the E-Bike City

Resümee für den Carl-Pirath-Preis 2025

Lukas Ballo, ETH Zürich

Dissertation an der ETH Zürich, betreut durch Prof. Dr. M. Raubal und Prof. em. Dr. K.W. Axhausen.



E-Bike City in Zürich (Ballo & Cardoso, 2024, Visualisierung: Nightnurse)

Hohe Erreichbarkeit ist die Grundlage für moderne Gesellschaften. Es erlaubt Spezialisierung, sozialen Zusammenhalt und individuelle Selbstbestimmung. Eine wachsende Erreichbarkeit ermöglicht, dass wir von einem Ort eine grössere Auswahl an potenziellen Zielen und Aktivitäten haben – wie etwa Arbeitsplätze, Einkaufsmöglichkeiten, oder Treffen mit anderen Menschen. Das bringt Zugang zu besseren Karrieremöglichkeiten, passenden Bildungsangeboten, oder vielfältigen sozialen Kontakten. Das Niveau der Erreichbarkeit prägt somit massgeblich das wirtschaftliche und soziale Funktionieren einer Gesellschaft.

Verkehrssysteme schaffen Erreichbarkeit. Deshalb investieren Staaten seit Jahrzehnten in grosse Infrastrukturen wie Brücken, Tunnel, Hochgeschwindigkeitsstrecken und Autobahnen, während private Haushalte in Autos investieren. Dieses Paradigma der «grossen Infrastruktur» hat erhebliche Erreichbarkeitsgewinne ermöglicht – stösst jedoch zunehmend an Grenzen.

Die Grenzen der «grossen Infrastruktur»

Die dringend notwendige Dekarbonisierung verlangt Alternativen zum heutigen Verkehrssystem – denn auch ein elektrifizierter Autoverkehr bleibt CO₂-intensiv. Aber auch der knappe Strassenraum und explodierende Komplexität von Infrastrukturprojekten machen es zunehmend schwierig, den Verkehrsraum auszubauen. Zudem führt jeder Ausbau, der Reisezeiten verkürzt, zu induziertem Verkehr – oft mit der Folge, dass einige erzielten Vorteile wieder verloren gehen.

Theoretisch könnte der Stadtverkehr mit kleinen, leichten Fahrzeugen wie Fahrräder oder E-Bikes eine gleichwertige oder gar bessere Erreichbarkeit produzieren – bei fast null Emissionen und ohne neue Infrastruktur. Durch eine reine Umwidmung bestehender Flächen des motorisierten Verkehrs in abgetrennte Radwege liesse sich die Kapazität steigern. Mit E-Bikes (Pedelecs) liessen sich dann ähnliche Reisegeschwindigkeiten erreichen, wie beim heutigen Autoverkehr. Durch die Trennung wäre das Radfahren für breite Bevölkerungsgruppen sicher und attraktiv. Manche Fahrten würden im Vergleich zum Auto aufwendiger, insbesondere bei kaltem und nassem Wetter. Andere hingegen einfacher, zum Beispiel wenn die Parkplatzsuche wegfällt oder wenn man ohne Stau vorankommt. In der Summe könnten sich diese Effekte ausgleichen oder sogar eine Steigerung der Erreichbarkeit bewirken.

Fehlende Visionen

Bisher fehlte jedoch ein klares Bild, wie ein solcher Paradigmenwechsel praktisch aussehen könnte. In Städten ohne ausgeprägte Fahrradkultur war schwer vorstellbar, dass ein System kleiner Fahrzeuge die notwendige Erreichbarkeit für die Bevölkerung sichern kann. Während einzelne Vor- oder Nachteile des Radverkehrs öffentlich diskutiert wurden, blieb das Gesamtbild einer Stadt, die mehrheitlich auf das Auto verzichtet, vage. Damit blieben die Diskussionen abstrakt und ideologisch geprägt.

Auch die heutige, auto-orientierte Stadt mit klar getrennten Fahrbahnen und Gehwegen war nicht immer selbstverständlich. Erst visionäre Konzepte der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts machten sie zu einem erstrebenswerten Ziel. In damaligen Städten mit schlechter Hygiene und langsamer Fortbewegung waren Le Corbusiers saubere Hochhäuser und breiten Autobahnen eine verheissungsvolle Zukunftsvision. Die Strahlkraft dieser Bilder war so gross, dass viele Detailfragen gerne ausgeblendet wurden – und bis heute prägen Varianten dieser Visionen zahlreiche Stadtentwicklungen.

Heute benötigen wir neue, ähnlich kraftvolle Leitbilder, die zeigen, wie eine positive Zukunft der Städte und ihrer Erreichbarkeit aussehen kann.

Vom Konzept zum Plan

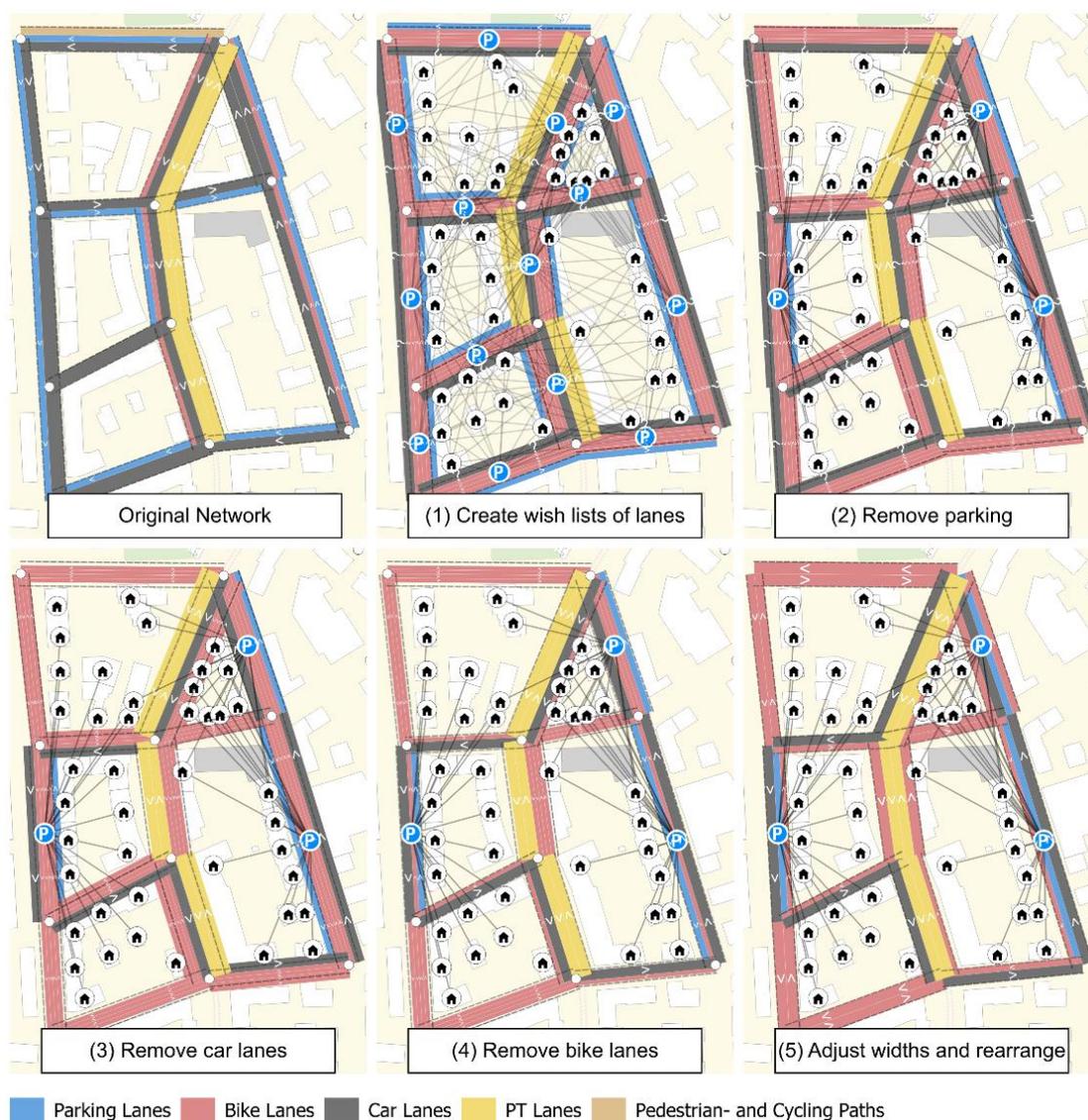
Diese Dissertation zeigt eine E-Bike City – eine Stadt, wo E-Bikes, zusammen mit öffentlichem Verkehr und Fussverkehr – das Rückgrat der urbanen Mobilität bilden. Das Auto verschwindet nicht, seine Priorität bei der Planung der Verkehrsanlagen beschränkt sich aber auf den Zugang zu Gebäuden, etwa für grosse Materiallieferungen, Rettungsdienste, oder mobilitätseingeschränkte Personen. Die E-Bike City in dieser Arbeit ist in Zürich, doch die Ideen dahinter können auf viele anderen Städte übertragen werden. Es ist eine Vision und ein Plan, ausgearbeitet in einer Detailtiefe, wo räumlich explizite Fragen behandelt werden. Das Konzept baut auf früheren Ideen von K. W. Axhausen auf und entwickelt diese systematisch weiter.

Der Beitrag der Arbeit besteht aus vier Teilen:

(1) Konzeptentwicklung: Theoretische Fundierung der E-Bike City, inklusive Gestaltungsprinzipien, Herausforderungen und Ansätze für die Sicherstellung einer gerechten Verteilung der Erreichbarkeit.

(2) Netzentwurf: Entwicklung einer Software «SNMan» zur Generierung von alternativen Verkehrsnetzen auf bestehenden Strassen. Damit können in wenigen Stunden stadtweite Pläne für eine neue Aufteilung des Strassenräume und eine Reorganisation des Verkehrs entworfen werden. In dieser Arbeit wird ein Plan für Zürich gezeigt, wo durch ein Netz von Strassen mit Einbahnregime für den Autoverkehr Platz für grosszügige getrennte Radwege geschaffen wird. Die stadtweite Anordnung der Fahrspuren ist gleichzeitig so konzipiert, dass alle bestehenden Linienfahrwege des öffentlichen Verkehrs weiterhin möglich bleiben. Die Software ist verfügbar open-source: <https://github.com/lukasballo/snman>

Das Verfahren des Netzentwurfs basiert auf offenen Geodaten aus OpenStreetMap und kann durch lokale, genauere Datenquellen angereichert werden. Das ermöglicht eine gute Kombination von Skalierbarkeit und Genauigkeit erreichen. Die Netze werden aufgebaut in einem Prozess der inversen Formation, die sicherstellt, dass sie jederzeit konsistent bleiben. So können komplexe Gestaltungsvarianten von Verkehrsregimen erstellen, die den praktischen Anforderungen gerecht sind – beispielsweise Einbahnstrassen bleiben befahrbar oder alle Einwohner behalten ein gegebenes Mindestangebot an Strassenparkplätze. Die folgende Abbildung zeigt den Prozess am Beispiel eines kleinen Netzes.

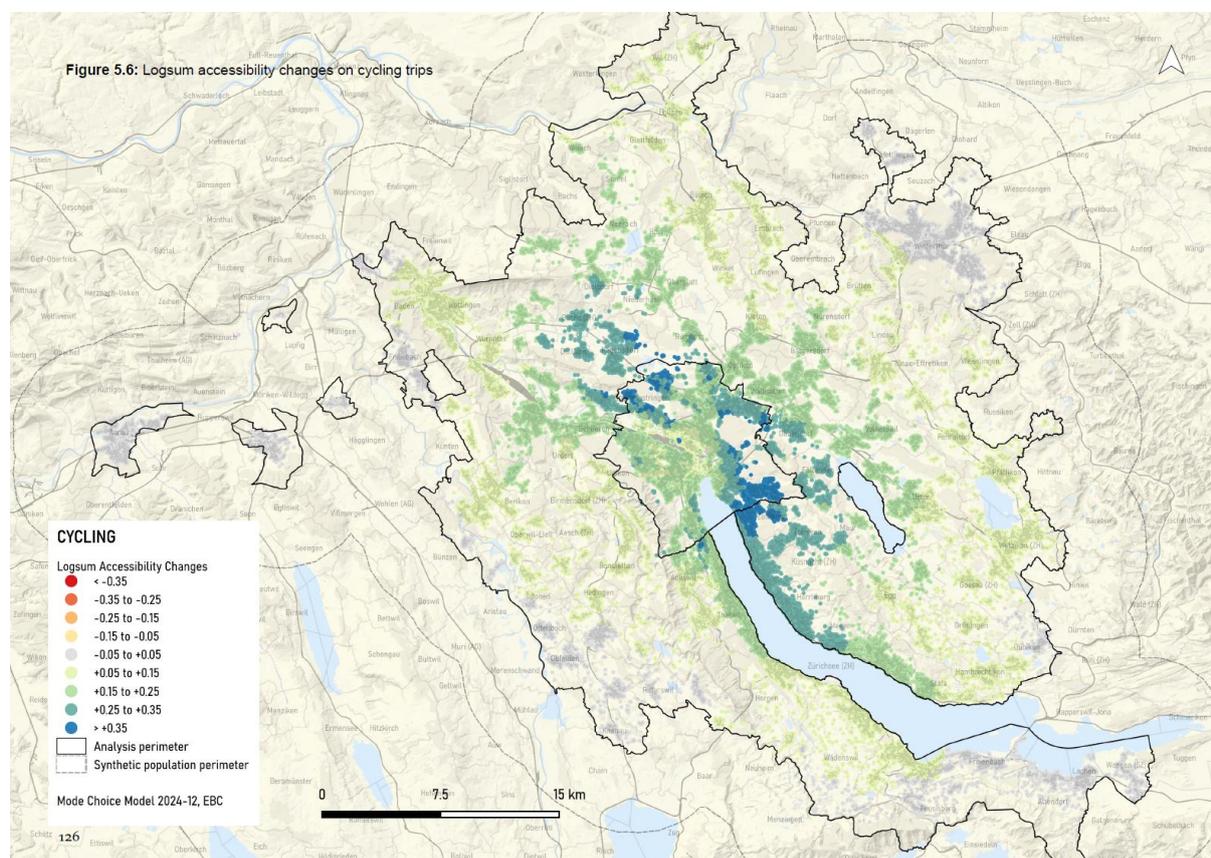


Entwurfsprozess der alternativen Strassenraumaufteilungen auf Netzebene

(3) Strassen- und Kreuzungsdesigns: Entwürfe für exemplarische Kreuzungen und Strassen in Zürich, ergänzt durch ein übertragbares Designmanual. Fotorealistische Visualisierungen machen das Leben in einer solchen Stadt greifbar.

(4) Analysen der Auswirkungen auf die Erreichbarkeit: Agentenbasierte Verkehrssimulationen (MATSim) zeigen, wie sich Verkehrsströme und Verkehrsmittelwahl verändern. Sie berücksichtigen das geänderte Verkehrsnetz auf dem Stadtgebiet, zeigen aber die Auswirkungen in der gesamten Metropolitanregion. Für den motorisierten Verkehr ergeben sich eine verringerte Kapazität sowie neue Routenführungen aufgrund zahlreicher Einbahnstrassen. Der Radverkehr profitiert dagegen von einem deutlich höheren Komfort.

Im Gegensatz zu gängigen Verkehrsmodellen wird beim Radverkehr nicht nur die Reisezeit, sondern auch der Komfort berücksichtigt. Dies erfolgt über sogenannte «Values of Distance», welche – basierend auf einem Routenwahlmodell – Komfortfaktoren wie getrennte Radwege oder Steigungen in eine äquivalente Distanz umrechnen. Logsum-basierte Erreichbarkeitsanalysen quantifizieren anschliessend die Effekte für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Veränderungen der Erreichbarkeit im Radverkehr.



Erreichbarkeitsveränderungen im Radverkehr

Ergebnisse, Diskussion und Erkenntnisse

- **Machbarkeit:** In Zürich kann 54% des bestehenden Strassenraums dem Radverkehr zugewiesen werden, ohne Reduktion des öV-Netzes und mit Sicherstellung eines angemessenen Zugangs zu jedem Gebäude mit dem Auto.
- **Verkehrsmittelwahl:** Reduktion der generalisierten Kosten bei durchschnittlichen Wegen mit dem Fahrrad um 24% (hauptsächlich durch Komfortgewinne und direkte, sichere Routen), Verlängerung der kürzesten Wege mit dem Auto ca. 36% durch Umwege wegen gesperrten

Strassen und Strassen mit Einbahnverkehr. In der gesamten Region sinken die Autokilometer um 3 %, in der Stadt um 10,2%. Rund 51'000 heutige Autofahrer steigen komplett auf andere Verkehrsmittel um, in der Stadt etwa 30'000. Fahrrad-, Pedelec- und S-Pedelec-Kilometer steigen regional um 13,4%, 22,7% und 7,2%, in der Stadt um 38,6%, 44,9% und 44,4%. Der öffentliche Verkehr legt regional 9,5% zu, innerhalb der Stadt sogar 28,2%.

- **Gerechtigkeit:** Reduktion der Disparitäten zwischen Menschen mit hoher und tiefer Erreichbarkeit. Menschen mit tiefster Erreichbarkeit gewinnen, während diejenigen mit höchsten Erreichbarkeitswerten verlieren.
- **Herausforderungen:** Leicht verringerte Gesamterreichbarkeit auf regionaler Ebene, Ausweichverkehr in einzelnen Quartieren und Potenzielle Überlastung auf einigen Strecken des öffentlichen Verkehrs.
- **Übertragbarkeit:** Offene Daten, Open-Source-Software und standardisierte Gestaltungsprinzipien ermöglichen die Anwendung auf viele anderen Städte.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass ein Ansatz der «kleinen Infrastruktur» nicht nur technisch umsetzbar ist, sondern auch sozial ausgewogen gestaltet werden kann. Entscheidend ist die Kombination aus konsequenter Flächenumverteilung, hochwertiger Infrastrukturqualität und flankierenden Massnahmen.

Beitrag und Bedeutung

Die Arbeit verbindet gesellschaftlich relevante Zielsetzungen (Dekarbonisierung, Flächeneffizienz, soziale Gerechtigkeit) mit technischer und planerischer Machbarkeitsprüfung. Sie liefert ein vollständiges Paket: ein visionäres, aber konkretes Konzept, ein reproduzierbares Entwurfswerkzeug, umsetzbare Strassenentwürfe und belastbare Wirkungsabschätzungen. Damit wird aus einer abstrakten Idee ein praktisch greifbares, wissenschaftlich fundiertes Zukunftsbild – und eine Grundlage, um Debatten über die Zukunft der städtischen Mobilität sachlich und ergebnisoffen zu führen.

Fazit

Die Dissertation zeigt: Eine zukunftsfähige Stadtmobilität muss nicht zwingend auf einen grossen Infrastrukturausbau setzen. Mit intelligenter Umverteilung bestehender Flächen, unterstützt durch datenbasierte Planung und gezielte Gestaltungsprinzipien, lässt sich ein leistungsfähiges, gerechtes und klimafreundliches Verkehrssystem schaffen.

Die *E-Bike City* macht sichtbar, dass der Weg zu nachhaltiger Mobilität nicht nur über technische Innovationen, sondern vor allem über eine bewusste Umgestaltung unserer städtischen Räume führt – mit kleiner Infrastruktur auf grossem Massstab.