

Hochschule Neu-Ulm University of Applied Sciences

Fakultät: Information Management

Information Management Automotive



**Hochschule Neu-Ulm
University of Applied Sciences**

Bachelorarbeit zum Thema:

Verkehrssimulation in einer linearen Stadt

Zur Erlangung des Grades Bachelor of Science

Vorgelegt von:

Ahmet Sentürk

Am G'haubach 54

87527 Sonthofen

E-Mail: ahmet.sentuerk@student.hnu.de

Matrikelnummer: 246670

Fachsemester: 12

Studiengang: Information Management Automotive

Abgabe:

Erstgutachter: Prof. Dr. Martin Stirzel

Zweitgutachter: Prof. Dr. Joerg-Oliver Vogt

Vorwort

Mit großer Freude und Stolz präsentiere ich Ihnen meine Bachelorarbeit mit dem Titel „Simulation des Verkehrs in einer linearen Stadt“. Dieses Projekt markiert einen bedeutsamen Meilenstein in meiner akademischen Reise und wäre ohne die Unterstützung zahlreicher Menschen nicht möglich gewesen.

Zuallererst möchte ich meine aufrichtige Dankbarkeit meiner Familie gegenüber zum Ausdruck bringen. Trotz eines anspruchsvollen Vollzeitberufs in unseren Familienbetrieben haben sie mich immer ermutigt, meine Bildungsziele zu verfolgen. Meine Familie hat mich nicht nur finanziell unterstützt, sondern mir auch stets Vertrauen geschenkt und mich ermutigt, meine Fähigkeiten auszubauen und neue Herausforderungen anzunehmen. Besonders möchte ich meiner Mutter danken, die mir als Vorbild diente und mich mit ihrer unerschütterlichen Zuversicht angespornt hat, nie aufzugeben und meinen Träumen nachzugehen.

Auch möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Martin Stirzel bedanken, der meine Arbeit betreut und unterstützt hat, sowie auch bei Herrn Prof. Dr. Joerg-Oliver Vogt, der als Zweitgutachter dient.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei meinen Freunden und Mitstudierenden bedanken, die mich während dieser Zeit unterstützt und motiviert haben. Ihre Anregungen und Diskussionen haben meine Sichtweise erweitert und mir geholfen, meine Ideen zu schärfen.

Zudem gilt mein Dank all jenen, die an der Entstehung dieser Arbeit mitgewirkt haben, sei es durch Interviews oder Umfragen. Ihre Beiträge waren von unschätzbarem Wert und haben dazu beigetragen, dass diese Arbeit umfassend und aussagekräftig ist.

Abschließend möchte ich meine Hochschule würdigen, die mir die Möglichkeit gegeben hat, mich in einem Umfeld des akademischen Lernens und Wachsens zu entfalten. Die vielfältigen Ressourcen und das Wissen, das ich während meines Studiums erwerben durfte, haben mich auf diesem Weg unterstützt und inspiriert.

Ich hoffe aufrichtig, dass diese Bachelorarbeit einen wertvollen Beitrag zum Fachgebiet leistet und neue Erkenntnisse für zukünftige Forschungen bietet. Es war eine aufregende und erfüllende Reise, die mir nicht nur akademisches Wissen vermittelt, sondern auch wertvolle Lebenserfahrungen geschenkt hat.

Vielen Dank an alle, die dazu beigetragen haben, dass dieses Projekt Wirklichkeit wurde. Möge diese Arbeit dazu beitragen, das Wissen auf dem Gebiet *Information Management Automotive* zu bereichern und einen positiven Einfluss auf die Gemeinschaft zu haben.

Mit herzlichen Grüßen,

Ahmet Sentürk

Sonthofen, 14.12.2023

Verzicht auf Gendergerechte Sprache

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

ich möchte darauf hinweisen, dass ich in dieser Bachelorarbeit bewusst auf die Verwendung von gendergerechter Sprache verzichte. Dieser Verzicht erfolgt mit dem Ziel, den Lesefluss und die Verständlichkeit des Textes zu fördern. Die Entscheidung beruht auf der Überlegung, die Inhalte möglichst klar und zugänglich zu präsentieren, ohne dabei durch sprachliche Konstruktionen den Lesefluss zu beeinträchtigen.

Es ist mir wichtig zu betonen, dass dieser Verzicht nicht als Missachtung der Prinzipien von Geschlechtergerechtigkeit zu verstehen ist. Die Entscheidung wurde im Kontext dieser wissenschaftlichen Arbeit getroffen, um sicherzustellen, dass die Informationen ohne unnötige sprachliche Komplexität vermittelt werden können.

Ich stehe selbstverständlich für weitere Fragen und Diskussionen zu diesem Thema zur Verfügung und danke für Ihr Verständnis.

Mit freundlichen Grüßen,

Ahmet Sentürk

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	1
Tabellenverzeichnis.....	2
1 Einleitung.....	3
1.1 Einführung.....	3
1.2 Motivation und Zielsetzung.....	4
1.3 Relevanz des Themas für die städtische Planung und Verkehrssteuerung	5
2 Theoretische Grundlagen und Beispiele für lineare Städte	5
2.1 Konzepte der städtischen Verkehrssimulation	6
2.2 Merkmale und Herausforderungen linearer Städte	7
2.3 Heutige lineare Städte	7
2.3.1 „La Cidudad lineal“ – <i>Die lineare Stadt</i> , Madrid, Spanien – als Vorreiter	7
2.3.2 Manhattan in New York City, USA.....	9
2.4 Einführung in das Stadtentwicklungsprojekt „The Line“	10
2.4.1 The Line – „Die Revolution des städtischen Lebens“	10
2.4.2 City Modules: Gemeinden ohne Straßen.....	12
2.4.3 Transportsysteme in The Line.....	13
2.4.4 Keine Autos in The Line.....	14
2.4.5 Das Fahrrad als meistgenutztes Transportwesen in The Line	15
3 Verkehrssimulationssoftware SUMO.....	15
3.1 Erklärung SUMO	15
3.2 SUMO - Netedit	16
3.3 SUMO OSM Web Wizard.....	16
3.4 Das SUMO-GUI	17
4 Erstellung eines Stadtmoduls in The Line mit Netedit (SUMO)	19
4.1 Bekannte Informationen zu Stadtmodulen (Modules)	19
4.2 Entwurf von Stadtmodulen in Netedit.....	19
4.3 Testlauf in SUMO-GUI	21
5 Simulation des erstellten Stadtmoduls.....	22
5.1 Verkehrsdaten aus Stadtmodulen in The Line in SUMO	22
5.1.1 Parameter der Radfahrer	22
5.1.2 Parameter der Passanten.....	23
5.2 Daten aus dem simulierten Straßennetz Mannhattans	23
5.2.1 Gesamtübersicht aus Verkehrssimulation in SUMO	25
5.2.2 Simulationswerte aus Manhattan für Bus, Auto, LKW, Motorrad und Fahrrad	26
6 Ergebnisse der Datenerfassung und -verarbeitung.....	27

6.1	Datenvalidierung aus Simulationswerten von Stadtmodulen in The Line und Manhattan ...	27
6.1.1	Validierung der Simulationswerte in The Line	27
6.1.2	Vergleich mit Manhattan.....	28
6.2	Die Online-Umfrage.....	29
6.2.1	Umfragekonzeption und -durchführung	29
6.2.2	Online-Umfrage	29
6.2.3	Validierung der Daten aus Simulation und Umfrage.....	41
7	Diskussion.....	42
8	Fazit	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Plan einer Bandstadt (Ciudad Lineal) von Arturo Soria y Mata; 1882	8
Abbildung 2: Der 16. Distrikt Madrids, "La Ciudad Lineal"	8
Abbildung 3: Abbildung der "Ciudad Lineal"	9
Abbildung 4: Manhattan mit Abbildung des Broadways.....	9
Abbildung 5: The Line in Rot auf einer Landkarte.....	10
Abbildung 6: Konzeptbild von The Line.....	11
Abbildung 7: Konzeptbild mehrerer "Stadtmodule" in The Line	12
Abbildung 8: Autonomes Fracht-Shuttle von udelv und Mobileye.....	13
Abbildung 9: Transport-Helikopter VOLOCity der Firma Volocopter	14
Abbildung 10: SUMO Nedit Logo.....	16
Abbildung 11: SUMO OSM Web Wizard Logo	16
Abbildung 12: Screenshot aus SUMO OSM Web Wizard in Google Chrome	17
Abbildung 13: SUMO-GUI Logo	17
Abbildung 14: Screenshot aus SUMO-GUI nach Beendigung der Simulation (HNU-Gelände).....	18
Abbildung 15: Ergebnisse Simulation.....	18
Abbildung 16: Bearbeiteter Screenshot von einem Stadtmodul aus einem Konzeptvideo NEOMs.....	19
Abbildung 17: erstelltes Verkehrsnetz in Nedit in Rohform	20
Abbildung 18: Erstellen von Routen für Radfahrer und Passanten in Nedit (SUMO)	20
Abbildung 19: Verkehrsnetzwerk in SUMO-GUI	21
Abbildung 20: Vergrößerte Ansicht auf Abbildung 19; Radfahrer sind in Gelb markiert.....	21
Abbildung 21: Ampelsysteme an vielbefahrenen Kreuzungen (siehe rote Kreise)	22
Abbildung 22: Interface OSM-WEB WIZARD von SUMO; roter Bereich entspricht dem Simulationsfeld	23
Abbildung 23: Screenshot aus SUMO-GUI	24
Abbildung 24: Parameter aus der Simulation einer Community	27
Abbildung 25: Altersverteilung der Umfrageteilnehmer; Eigene Darstellung	30
Abbildung 26: Altersverteilung der Umfrageteilnehmer; Eigene Darstellung	31
Abbildung 27: Verteilung des bevorzugten Verkehrssystems.....	31
Abbildung 28: Verteilung der Antworten zu Umwelt und Nachhaltigkeit; Eigene Darstellung	32
Abbildung 29: Verteilung des bevorzugten Verkehrssystems bezüglich Sicherheit für Radfahrer und Fußgänger; Eigene Darstellung	33
Abbildung 30: Verteilung der Antworten bezüglich der Förderung der sozialen Interaktion zwischen Bewohnern; Eigene Darstellung	34
Abbildung 31: Verteilung bezüglich der Effektivität gegenüber Staus und Luftverschmutzung; Eigene Darstellung	35
Abbildung 32: Verteilung der täglich genutzten Verkehrsmittel; Eigene Darstellung	36
Abbildung 33: Verteilung der Anzahl an täglich genutzten Verkehrsmitteln; Eigene Darstellung	37
Abbildung 34: Verteilung der Vorteile durch ein Verkehrssystem, das hauptsächlich auf Fahrrädern basiert; Eigene Darstellung.....	38
Abbildung 35: Verteilung der Herausforderungen in einem auf Radfahrer abgeschnittenen Verkehrssystem; Eigene Darstellung	39
Abbildung 36: Darstellung der Antworten bezüglich eines besser funktionierenden Verkehrssystems40	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtübersicht der Agenten in der Simulation von Abbildung 23.....	25
Tabelle 2: Parameter der Agentenbasierten Simulation aus Abbildung 15.....	26
Tabelle 3: Gegenüberstellung der Parameter (Manhattan zu Community in The Line).....	28

1 Einleitung

1.1 Einführung

In einer zunehmend vernetzten und urbanisierten Welt sind die effiziente Gestaltung und Optimierung des Verkehrs von entscheidender Bedeutung. Die stetig wachsenden Herausforderungen im Bereich der urbanen Mobilität erfordern innovative Lösungen, um den Verkehr fließender und umweltfreundlicher zu gestalten. In diesem Kontext gewinnt die Verkehrssimulation als mächtiges Werkzeug an Bedeutung, um die Auswirkungen von Verkehrsströmen auf städtische Infrastrukturen zu analysieren und zu optimieren.

Diese Bachelorarbeit widmet sich dem Thema "Verkehrssimulation in einer linearen Stadt". Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung und Anwendung eines Simulationsmodells, das die komplexen Verkehrsflüsse in einer linearen urbanen Umgebung abbilden kann. Eine lineare Stadt zeichnet sich durch eine Anordnung von Verkehrswegen, Gebäuden und Infrastrukturen entlang einer einzigen Achse aus. Solche städtischen Konfigurationen sind in vielen realen Szenarien anzutreffen, sei es in Form von Hauptverkehrsadern, Autobahnen oder Schienenwegen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Nutzung von Verkehrssimulationstechniken ein besseres Verständnis für die Dynamik des Verkehrs in einer linearen Stadt zu erlangen. Durch die Erstellung eines geeigneten Simulationsmodells können verschiedene Szenarien analysiert und deren Auswirkungen auf die Verkehrsleistung untersucht werden. Dabei werden Faktoren wie Verkehrsdichte, Verkehrsfluss, Verkehrssteuerungssysteme und deren Einfluss auf die Effizienz und Nachhaltigkeit des Verkehrs betrachtet.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen dazu beitragen, Erkenntnisse für die Planung und Gestaltung von Verkehrssystemen in linearen städtischen Umgebungen zu gewinnen. Durch eine präzisere Modellierung und Analyse können Verkehrsingenieure und Stadtplaner fundierte Entscheidungen treffen, um Engpässe zu reduzieren, die Verkehrssicherheit zu verbessern und die Effizienz des Verkehrssystems insgesamt zu steigern. Darüber hinaus können die gewonnenen Erkenntnisse zur Entwicklung neuer Maßnahmen und Technologien beitragen, um den Verkehr in linearen Städten zukünftig noch nachhaltiger und umweltfreundlicher zu gestalten.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden wir uns mit der theoretischen Grundlage der Verkehrssimulation befassen, geeignete Modelle für eine lineare Stadt entwickeln und anhand von Fallstudien verschiedene Szenarien analysieren. Dabei werden wir die Chancen und Herausforderungen einer solchen Verkehrssimulation beleuchten und mögliche Ansätze zur Optimierung der Verkehrsleistung diskutieren.

Die vorliegende Bachelorarbeit leistet somit einen Beitrag zur Forschung im Bereich der Verkehrssimulation und liefert wertvolle Erkenntnisse für die Planung und Gestaltung von Verkehrssystemen in linearen städtischen Umgebungen.

1.2 Motivation und Zielsetzung

Die Motivation hinter dieser Bachelorarbeit liegt in der Notwendigkeit, effiziente und nachhaltige Lösungen für den Verkehr in linearen städtischen Umgebungen zu finden. Lineare Städte sind oft von starkem Verkehrsaufkommen betroffen, das zu Staus, Engpässen und Umweltauswirkungen führen kann. Die Verkehrssimulation bietet eine vielversprechende Möglichkeit, die Verkehrsleistung in solchen Szenarien zu analysieren und zu optimieren. Durch die genaue Modellierung und Analyse des Verkehrs können neue Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Verbesserung des Verkehrsflusses und zur Reduzierung von Problemen wie Staus beitragen können. Die Motivation dieser Arbeit liegt also in der Suche nach praxisorientierten Lösungen, um den Verkehr in linearen Städten effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten.

Das Hauptziel dieser Bachelorarbeit ist es, ein Simulationsmodell für die Verkehrssimulation in einer linearen Stadt zu entwickeln und anzuwenden. Die Zielsetzung lässt sich in mehrere Teilziele unterteilen:

Findung eines geeigneten Simulationsmodells: Es gilt, ein Modell zu nutzen, das die charakteristischen Merkmale einer linearen Stadt widerspiegeln kann. Hierbei werden Aspekte wie Verkehrsfluss, Verkehrsdichte, Straßenkonfigurationen, Verkehrssteuerungssysteme und andere relevante Faktoren berücksichtigt.

Validierung des Simulationsmodells: Das entwickelte Modell wird anhand von Simulationsdaten und Fallstudien validiert. Durch den Vergleich von simulierten Ergebnissen mit beobachteten Verkehrsverhalten können die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Modells überprüft werden.

Analyse verschiedener Szenarien: Mit dem validierten Simulationsmodell werden verschiedene Szenarien in einer linearen Stadt untersucht. Dabei werden beispielsweise Verkehrsstaus, Verkehrsflussoptimierungen, Auswirkungen von Verkehrssteuerungsmaßnahmen und alternative Verkehrsplanungen analysiert.

Ableitung von Empfehlungen: Auf Basis der Simulationsergebnisse werden Empfehlungen und Handlungsempfehlungen abgeleitet, die zur Verbesserung des Verkehrsflusses und der Verkehrsleistung in linearen Städten dienen können. Diese Empfehlungen können sowohl infrastrukturelle als auch organisatorische Maßnahmen umfassen.

Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht darin, ein fundiertes Verständnis für die Verkehrssimulation in linearen Städten zu erlangen, um konkrete Lösungen und Optimierungspotenziale zu identifizieren. Die gewonnenen Erkenntnisse können zur Entwicklung von effizienten Verkehrsstrategien beitragen, die den Anforderungen einer linearen städtischen Umgebung gerecht werden.

1.3 Relevanz des Themas für die städtische Planung und Verkehrssteuerung

Die Relevanz des Themas "Simulation des Verkehrs in einer linearen Stadt am Beispiel von The Line" für die Stadtplanung und Verkehrssteuerung ist von großer Bedeutung. In einer Zeit, in der urbane Räume weltweit kontinuierlich wachsen und sich entwickeln, stehen Stadtplaner und Verkehrsexperten vor immer komplexeren Herausforderungen. Innovative Stadtplanungskonzepte wie "The Line", das eine lineare Stadtstruktur vorschlägt, stellen eine vielversprechende Alternative zu traditionellen Stadtmodellen dar. Die Untersuchung der Verkehrssteuerung in solchen neuartigen Städten gewinnt an Bedeutung.

Der Kern dieser Relevanz liegt in der Möglichkeit, die praktische Machbarkeit und Effizienz solcher städtebaulichen Visionen zu bewerten. Lineare Städte versprechen eine optimierte Flächennutzung und eine effiziente räumliche Organisation. Diese Vorteile können jedoch durch die spezifischen Herausforderungen der Verkehrssteuerung und -planung beeinträchtigt werden. Das Verständnis der Auswirkungen linearer Stadtstrukturen auf den Verkehrsfluss und die Entwicklung geeigneter Strategien zur Bewältigung dieser Herausforderungen sind von entscheidender Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit trägt zur Relevanz des Themas bei, indem sie mehrere Aspekte beleuchtet:

Erstens trägt eine effiziente Verkehrssteuerung in einer linearen Stadt dazu bei, Verkehrsüberlastungen, Staus und Schadstoffemissionen zu minimieren. Die Analyse und Optimierung des Verkehrsflusses in "The Line" kann somit einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt und die Lebensqualität der Einwohner haben.

Zweitens ermöglicht die Untersuchung der Verkehrssteuerung in linearen Städten die Ermittlung potenzieller Sicherheitsrisiken und die Entwicklung von Maßnahmen zur Unfallverhütung. Die Einbahnstraßen und eingeschränkten Routen in einer linearen Stadt könnten Auswirkungen auf die Mobilität und die Verkehrssicherheit haben, die durch Simulationen ermittelt und angegangen werden können.

Drittens bietet die Anwendung fortschrittlicher Verkehrssimulationsmodelle die Möglichkeit, verschiedene Szenarien zu untersuchen und auf dieser Grundlage fundierte Entscheidungen für die Stadtplanung zu treffen. Diese Techniken nutzen fortschrittliche Ansätze wie künstliche Intelligenz und Big-Data-Analysen, um realistische Verkehrsszenarien abzubilden und mögliche Entwicklungen vorherzusagen.

Insgesamt trägt die Untersuchung der Verkehrssimulation in linearen Städten nicht nur dazu bei, die spezifischen Herausforderungen und Chancen solcher Stadtmodelle zu verstehen, sondern auch allgemeine Erkenntnisse und Empfehlungen für die zukünftige Stadtplanung und Verkehrssteuerung abzuleiten. Die gewonnenen Erkenntnisse können als Leitlinien für die Entwicklung zukünftiger städtischer Infrastrukturen dienen und somit einen wertvollen Beitrag zur Gestaltung nachhaltiger, effizienter und lebenswerter Städte weltweit leisten.

2 Theoretische Grundlagen und Beispiele für lineare Städte

2.1 Konzepte der städtischen Verkehrssimulation

In der städtischen Verkehrssimulation gibt es verschiedene Konzepte und Ansätze, um das komplexe Verhalten von Verkehrsteilnehmern und Verkehrsflüssen in urbanen Umgebungen zu modellieren und zu analysieren. Diese Konzepte umfassen:

1. **Mikroskopische Simulation:** Dieser Ansatz konzentriert sich auf die individuellen Verkehrsteilnehmer wie Autos, Busse, Fußgänger usw. Die Bewegungen jedes Fahrzeugs werden detailliert modelliert, wodurch ein genaues Verhalten und Interaktionen in Echtzeit simuliert werden können. (PTV-Group 2022)
2. **Makroskopische Simulation:** Hier werden Verkehrsflüsse auf aggregierter Ebene betrachtet. Anstatt einzelne Fahrzeuge zu verfolgen, werden Verkehrsmengen und -dichten in größeren Abschnitten des Straßennetzes analysiert. Diese Ansicht eignet sich gut für die Untersuchung von Gesamtverkehrsflüssen und -kapazitäten. (PTV-Group 2022)
3. **Mesoskopische Simulation:** Dieser Ansatz liegt zwischen der mikroskopischen und der makroskopischen Simulation. Er betrachtet Gruppen von Fahrzeugen oder Verkehrsteilnehmern, anstatt jedes Fahrzeug einzeln zu behandeln. Dies ermöglicht eine genauere Betrachtung von Verkehrsströmen und Engpässen. (PTV-Group 2022)
4. **Agentenbasierte Simulation:** Hier werden individuelle "Agenten" (z. B. Autos, Fußgänger) mit ihren eigenen Verhaltensregeln und Entscheidungen modelliert. Die Interaktionen zwischen diesen Agenten führen zur Entstehung von Verkehrsflüssen und -mustern. (Wikipedia 2023a)
5. **Hybride Simulation:** Dieser Ansatz kombiniert verschiedene Ebenen der Simulation, z. B. mikroskopisch und makroskopisch, um sowohl detaillierte als auch übergreifende Aspekte des Verkehrsverhaltens zu erfassen. (vgl PTV-Group 2022)

In dieser Arbeit wird beabsichtigt, das Konzept der agentenbasierten Simulation zu nutzen, um ein detailliertes Verständnis der Verkehrsströme und -muster in einer städtischen Umgebung zu gewinnen. Zu diesem Zweck werden die Simulationswerkzeuge der Plattform "Simulation of Urban MObility" (SUMO) verwendet, da sie sich als optimale und leicht zu implementierende Lösung für diese Art der Modellierung erwiesen haben.

Die Entscheidung für das agentenbasierte Simulationsmodell fiel aufgrund seiner Fähigkeit, das Verhalten und die Interaktionen der einzelnen Verkehrsteilnehmer realistisch darzustellen. Da SUMO umfangreiche Unterstützung für diese Art der Modellierung bietet, erwarte ich, dass ich in der Lage sein werde, eine genaue Darstellung der verschiedenen Arten von Fahrzeugen, Fußgängern und anderen Elementen des Verkehrs in einer städtischen Umgebung zu erstellen.

Die Vorteile der agentenbasierten Simulation in Kombination mit SUMO sind vielfältig. Sie ermöglicht es, einzelne Verkehrsteilnehmer mit spezifischen Verhaltensregeln und Entscheidungsprozessen zu modellieren, was ein besseres Verständnis der Dynamik des Verkehrsflusses ermöglicht. Durch die Interaktion dieser Agenten werde ich in der Lage sein, verschiedene Verkehrsszenarien zu simulieren und ihre Auswirkungen auf Staus, Durchsatz, Verkehrssicherheit und mehr zu analysieren.

Die Implementierung des agentenbasierten Modells in SUMO wird mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen und Funktionen effizient und genau sein. Ich plane, das Modell auf der Grundlage

simulierter Verkehrsdaten aus einer anderen Stadt zu parametrisieren und die Ergebnisse mit empirischen Beobachtungen zu vergleichen, um die Gültigkeit und Genauigkeit meiner Simulationsergebnisse sicherzustellen.

Insgesamt bietet die Verwendung des agentenbasierten Simulationsmodells in SUMO eine spannende Möglichkeit, tiefe Einblicke in die Verkehrsströme einer städtischen Umgebung zu gewinnen. Ich bin zuversichtlich, dass ich mit diesem Ansatz neue Erkenntnisse gewinnen kann, die nicht nur für meine Bachelorarbeit, sondern auch für die allgemeine Forschung im Bereich der städtischen Verkehrssimulation relevant sind.

2.2 Merkmale und Herausforderungen linearer Städte

Lineare Städte zeichnen sich durch ihre längliche Form aus, bei der sich die Siedlungen entlang einer Hauptstraße oder Achse erstrecken. Diese Struktur prägt ihre Merkmale und bringt sowohl besondere Merkmale als auch Herausforderungen mit sich.

Mobilität und Verkehr konzentrieren sich häufig auf diese Hauptstraße, was die Erreichbarkeit verbessern kann, aber auch Staus und Verkehrsüberlastung begünstigt. Die Flächennutzung folgt der linearen Ausrichtung, wobei sich Wohn- und Gewerbegebiete in der Regel entlang dieser Achse befinden. Die Stadtplanung zielt darauf ab, die Nutzung entlang der Hauptstraße zu optimieren und gleichzeitig öffentliche Einrichtungen und Verkehrsknotenpunkte strategisch zu platzieren.

Zu den Herausforderungen linearer Städte gehört die Notwendigkeit eines effektiven Verkehrsmanagements, um Staus und Verkehrsüberlastungen zu minimieren. Der Entwurf der Stadt muss sorgfältig ausgearbeitet werden, um ein Gleichgewicht zwischen Wohn-, Gewerbe- und Freizeitnutzung herzustellen und Nutzungskonflikte zu minimieren. Die Schaffung von öffentlichen Räumen und Grünanlagen kann schwierig sein, da der Platz begrenzt ist. Umweltprobleme wie Verkehr und Luftverschmutzung erfordern besondere Aufmerksamkeit. Darüber hinaus sind lineare Städte anfälliger für Naturkatastrophen, was die Planung der Widerstandsfähigkeit und der Infrastruktur noch wichtiger macht.

Insgesamt erfordern lineare Städte eine intelligente Stadtplanung, um ihr Potenzial auszuschöpfen und gleichzeitig die vielfältigen Herausforderungen zu bewältigen, die mit dieser besonderen Stadtform verbunden sind.

2.3 Heutige lineare Städte

2.3.1 „La Cidudad lineal“ – *Die lineare Stadt*, Madrid, Spanien – als Vorreiter

Es gibt viele lineare Städte, auch Bandstädte genannt, die mit stetiger Entwicklung gut funktionieren. Beispiele hierfür sind Manhattan in New York, USA, „La Ciudad Lineal“ - der 16. Distrikt Madrids, Barcelona und viele weitere.

Auch Wolgograd, von 1925 bis 1961 Stalingrad, ist eine Bandstadt, die trotz regelmäßiger Erweiterungen für ihre lineare Entwicklung bekannt ist. (Mamajewa 2021)

Der Architekt Arturo Soria y Mata (1844 – 1920) soll die erste Bandstadt entwickelt haben. Hierbei handelt es sich um den 16. Distrikt Madrids, der Hauptstadt Spaniens. (Wikipedia 2023b)

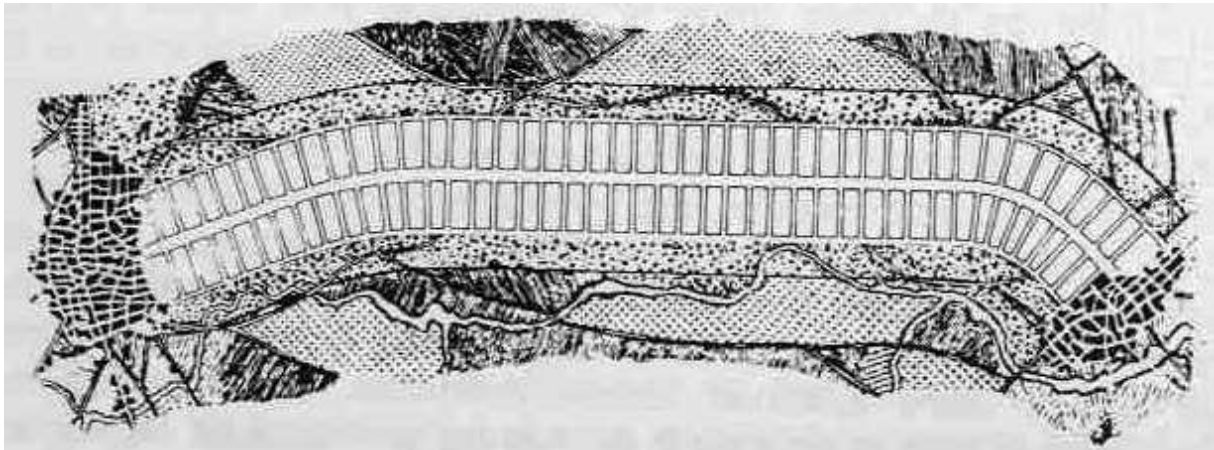


Abbildung 1: Plan einer Bandstadt (Ciudad Lineal) von Arturo Soria y Mata; 1882

Wie aus Abbildung 1 erkennbar ist, ist eine lineare Stadt gekennzeichnet durch innovative Ansätze zur Bewältigung der städtebaulichen Herausforderungen (des späten 19. Jahrhunderts) zu finden und gleichzeitig die Lebensqualität und Funktionalität urbaner Räume zu verbessern. Die Zeichnung stellt den 16. Distrikt Madrids, Spanien, dar. (Wikipedia 2023b)

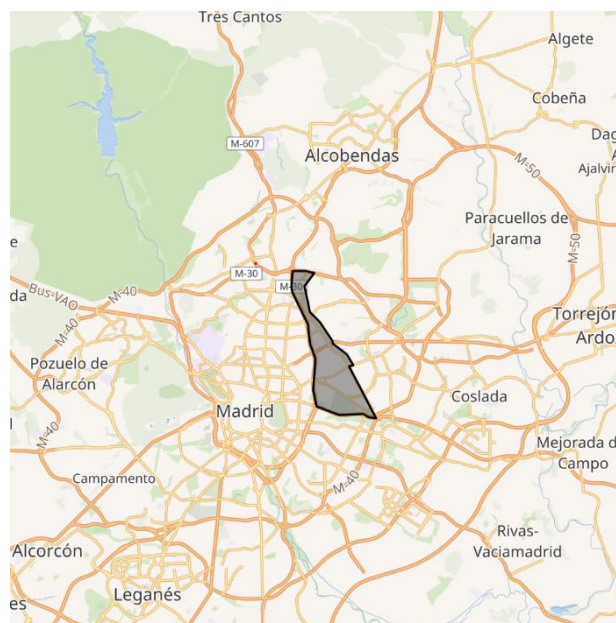


Abbildung 2: Der 16. Distrikt Madrids, "La Ciudad Lineal"

Die Idee hinter "La Ciudad Lineal" bestand darin, eine effiziente und nachhaltige Stadtstruktur zu schaffen, indem verschiedene Funktionen und Wohnbereiche entlang einer linearen Achse angeordnet werden. Diese Achse umfasst in der Regel Gewerbegebiete, Wohnviertel, Grünflächen und Infrastrukturen, die gut geplant und organisiert sind. Die Hauptachse soll als Rückgrat dienen und leicht zugängliche Verbindungen zwischen den verschiedenen Stadtteilen ermöglichen. Das Konzept der linearen Stadt wurde erstmals von Arturo Soria y Mata im Jahr 1882 in seinem Buch "La Ciudad Lineal" veröffentlicht. Seine Idee sollte eine Alternative zu den damals üblichen chaotischen und

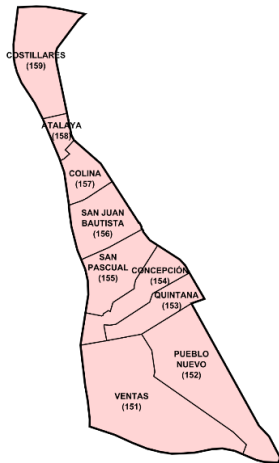


Abbildung 3: Abbildung der "Ciudad Lineal"

unstrukturierten Stadtentwicklungen bieten, die häufig von Problemen wie Verkehrsüberlastung, schlechter Luftqualität und mangelnden Grünflächen geprägt waren.

Obwohl das ursprüngliche Projekt von "La Ciudad Lineal" nicht in der ursprünglichen Form umgesetzt wurde, hatte es dennoch einen erheblichen Einfluss auf die moderne Städteplanung und hat andere Stadtplaner und Architekten inspiriert, ähnliche Konzepte zu entwickeln. Das Konzept einer linearen Stadt wird heute immer noch in verschiedenen Formen in der urbanen Entwicklung und Stadtplanung auf der ganzen Welt berücksichtigt. Es dient als Beispiel für die Schaffung effizienter und nachhaltiger städtischer Lebensräume. (Wikipedia 2022)

2.3.2 Manhattan in New York City, USA

Das wohl berühmteste Beispiel einer linearen Stadt ist Manhattan, einer der fünf Stadtteile von New York City. Die Insel Manhattan ist lang und schmal, und die städtische Entwicklung erstreckt sich entlang der Nord-Süd-Achse der Insel. Die schmale, langgestreckte Form Manhattans, das sich von Norden nach Süden über 21,6 Kilometer erstreckt, trägt zu seinem linearen Charakter bei. Die Insel wird im Osten durch den East River und im Westen durch den Hudson River begrenzt, was zu einer klaren Begrenzung führt und die Stadtentwicklung entlang dieser Achse begünstigt.

Das Straßennetz Manhattans ist in einem regelmäßigen Raster angelegt, was den Verkehrsfluss entlang der Hauptachsen erleichtert. Wichtige Straßen wie die Fifth Avenue und die Broadway Avenue (siehe rote Markierung in Abb. 4) verlaufen von Süden nach Norden und unterteilen Manhattan in Abschnitte. Diese Hauptachsen dienen als wichtige Verkehrs- und Handelswege und tragen zur Bildung unterschiedlicher Stadtteile bei.

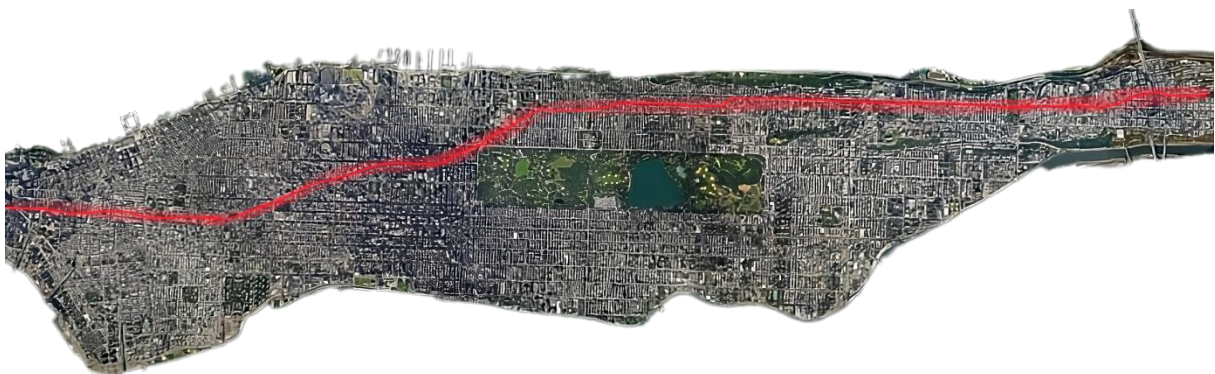


Abbildung 4: Manhattan mit Abbildung des Broadways

Die hohe Bevölkerungsdichte, die Vielzahl von Gebäuden unterschiedlicher Höhe entlang der Straßen und die Aktivitäten auf den Bürgersteigen verleihen Manhattan seine dynamische Atmosphäre. Die Nutzung der vertikalen Dimension durch Wolkenkratzer spiegelt das Bestreben wider, den begrenzten Raum optimal zu nutzen. Die begrenzte Ausdehnungsmöglichkeit kann auch positiv wirken, indem sie

zu einer kompakteren Stadt führt. Eine lineare Stadt kann die städtische Entwicklung konzentrieren und die Infrastruktur effizienter nutzen, da sie sich entlang einer schmalen Fläche erstreckt. Dadurch können kurze Wege zwischen Wohngebieten, Arbeitsplätzen und Einrichtungen gefördert werden, was die Lebensqualität der Bewohner verbessern kann. Die zentrale Hauptachse einer linearen Stadt wie Manhattan kann als Symbol der Identität und Erkennbarkeit der Stadt dienen. In vielen Fällen wird diese Achse zum Hauptmerkmal der Stadtlandschaft und kann kulturelle und historische Bedeutung haben, was wiederum den Tourismus und das städtische Image fördern kann. (WELT 2014)

Die begrenzte Flächenausdehnung kann auch dazu beitragen, dass die Stadt effektiver mit Ressourcen umgeht. Eine klug geplante lineare Stadt kann die Versorgung mit Wasser, Energie und anderen Dienstleistungen optimieren, da sie auf einem kleineren Gebiet konzentriert ist.

Ebenfalls bietet eine lineare Stadt eine bessere Erreichbarkeit. Bewohner haben oft leichteren Zugang zu Annehmlichkeiten, öffentlichen Verkehrsmitteln und Dienstleistungen, da sich die meisten von ihnen entlang der Hauptachse konzentrieren. Es ist wichtig zu beachten, dass die Vorteile einer linearen Stadtstruktur wie Manhattan von der effektiven Planung und dem Management abhängen. Eine ausgewogene Berücksichtigung der Vorteile und Nachteile sowie eine sorgfältige städtebauliche Gestaltung können dazu beitragen, dass eine lineare Stadt eine lebenswerte und attraktive Umgebung für ihre Bewohner schafft. (Stokman 2022)

2.4 Einführung in das Stadtentwicklungsprojekt „The Line“

2.4.1 The Line – „Die Revolution des städtischen Lebens“

"The Line" ist ein visionäres und ehrgeiziges städtebauliches Projekt, das von Saudi-Arabien als Teil des noch größeren Entwicklungsplans "NEOM" vorgeschlagen wurde. NEOM ist eine geplante Sonderwirtschaftszone, die sich über eine Fläche von 26.500 Quadratkilometern im Nordwesten Saudi-Arabiens erstrecken soll. The Line ist eines der Hauptprojekte innerhalb von NEOM und hat das Ziel, eine innovative und nachhaltige Stadt zu schaffen, die auf zukunftsweisender Technologie und modernen urbanen Prinzipien basiert. The Line soll eine futuristische, nachhaltige und lebenswerte Stadt schaffen, die sich auf Umweltschutz, Technologie und Lebensqualität konzentriert. Inspiriert von den Prinzipien moderner Städteplanung, wie der Integration von Technologie und Nachhaltigkeit, zielt The Line darauf ab, eine innovative und attraktive urbane Umgebung zu schaffen. (NEOM 2023)

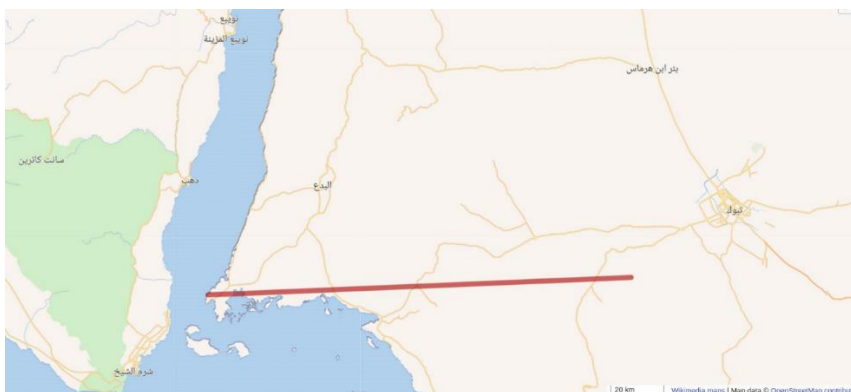


Abbildung 5: The Line in Rot auf einer Landkarte

Die genaue geografische Lage von The Line innerhalb der NEOM-Zone ist im Nordwesten von Saudi-Arabien, entlang der Küste des Roten Meeres, geplant.

Ähnlich wie bei einer Bandstadt erstreckt sich The Line in einer langen, linearen Form über eine Länge von etwa 170

Kilometern und ist 200 Meter breit. Dieses Konzept soll es den Bewohnern (9 Millionen Einwohner) ermöglichen, kurze Wege zu haben und die Natur besser zu erleben.



Abbildung 6: Konzeptbild von The Line

Auch wenn "The Line" ein einzigartiges Konzept ist, gibt es keine direkte Vorlage oder bestehende Stadt, an der es sich orientiert. Stattdessen bezieht es sich auf eine Reihe von modernen urbanen Konzepten und Prinzipien, um eine Stadt der Zukunft zu gestalten. Dies umfasst Ideen wie eine Fußgängerfreundliche Umgebung, eine intelligente Infrastruktur, umweltfreundliche Technologien und eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen.

Obwohl die Stadt direkt vom Roten Meer ausgehend in die Wüste gebaut wird, ist das Ziel, ganzjährig ein ideales Klima zu bieten. Die gesamte Anlage soll vollständig mit erneuerbaren Energien betrieben werden und klimaneutral sein. Um den Platzbedarf für die Infrastruktur zu verringern, sind die Funktionen der Stadt äußerst effizient gestaltet. (Asimov 2023)

The Line soll autofrei sein, und die Bewohner sollen alles, was sie zum Leben brauchen, innerhalb von fünf Minuten zu Fuß erreichen können. Sollte man weiter entfernte Ziele innerhalb der Stadt ansteuern wollen, ist dies unterirdisch mit einem Hochgeschwindigkeitszug möglich, der eine Geschwindigkeit von 512 km/h erreicht und eine Fahrt von einem Ende der Stadt zum anderen in unter 20 Minuten ermöglicht. Das Projekt ist Teil der „Vision 2030“ von Saudi-Arabien, mit der das Land seine Wirtschaft diversifizieren möchte und neue Technologien fördern will. Es ist eines von mehreren Großprojekten innerhalb des Gebiets Neom, das als "urbanes Labor" betrachtet wird und Innovationen vorantreiben soll. Obwohl das Projekt faszinierend und beeindruckend wirkt, gibt es auch Kritiker, die die Struktur einer linearen Stadt als Gedankenfehler bezeichnen und Bedenken bezüglich der Umsetzung und Realisierung haben. Insgesamt ist "The Line" ein ehrgeiziges Vorhaben, das die Aufmerksamkeit auf sich zieht und weitreichende Auswirkungen auf die Zukunft Saudi-Arabiens haben könnte. (Amon 2023)

2.4.2 City Modules: Gemeinden ohne Straßen

In The Line werden keine Autos fahren dürfen: es wird keine Straßen geben, dies steht fest. Entlang der Achse auf der Erdoberfläche sind Pläne für die Schaffung einer Vielzahl von autofreien Gemeinden, die als "Stadtmodule" bezeichnet werden. Jede dieser Gemeinden soll so konzipiert sein, dass sämtliche Wege innerhalb von nur fünf Minuten zu Fuß zurückgelegt werden können. Ein besonderes Augenmerk liegt darauf, die gesamte Anlage mithilfe von erneuerbaren Energien zu betreiben und eine vollständige Klimaneutralität zu erreichen. (Wikipedia 2023c)



Abbildung 7: Konzeptbild mehrerer "Stadtmodule" in The Line

In Abbildung 7 ist erkenntlich, dass Stadtmodule in The Line miteinander verknüpft sein werden. Diese haben auf ihrer Oberfläche keine Straßen, wie sie es in herkömmlichen Verkehrsnetzen üblich sind. Stattdessen werden sie Fahrradspuren und Gehwege für Passanten bieten, um ein einfaches von-A-nach-B-zu-kommen ermöglichen. (NEOM 2023)

2.4.3 Transportsysteme in The Line

Das Stadtentwicklungsprojekt The Line in der NEOM-Zone in Saudi-Arabien sieht die Einführung moderner und fortschrittlicher Verkehrssysteme vor. Ziel ist es, eine effiziente, umweltfreundliche und gut vernetzte Mobilitätsinfrastruktur zu schaffen, die es den Bewohnern ermöglicht, sich schnell und bequem in der Stadt zu bewegen. (NEOM 2023)

Einige der geplanten Transportsysteme und -technologien in "The Line" könnten folgende sein:

Autonomer Posttransport: "The Line" zielt darauf ab, eine fortschrittliche autonome Verkehrslösung zu schaffen, bei der selbstfahrende Fahrzeuge die Straßen im Untergrund bevölkern. Diese Fahrzeuge



Abbildung 8: Autonomes Fracht-Shuttle von udelv und Mobileye

könnten sich ohne menschliches Zutun sicher und effizient fortbewegen. Die Nutzung von Autos sollte in "The Line" reduziert oder sogar vermieden werden, um eine nachhaltige und umweltfreundliche Stadt zu schaffen. Zu den hervorgehobenen Aspekten könnten autonomes Fahren, Elektromobilität, innovative Verkehrssysteme und Fußgängerfreundlichkeit gehören. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Lebensqualität zu erhöhen, die Umweltbelastung zu verringern und eine effiziente Mobilität zu gewährleisten. (Udelv 2021)

Hochgeschwindigkeitszüge: Die Integration von Hochgeschwindigkeitszügen könnte für eine schnelle Verbindung zwischen den verschiedenen Abschnitten der "The Line" sorgen und so den Zeitaufwand für das Pendeln zwischen Wohn-, Geschäfts- und Erholungsgebieten minimieren.

Intelligentes Verkehrsmanagement: Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz und Datenanalyse könnte ein intelligentes Verkehrsmanagementsystem eingeführt werden, das den Verkehrsfluss in Echtzeit überwacht und Verkehrsprobleme proaktiv löst. (HyperloopHype 2022)

Infrastruktur für Fußgänger und Radfahrer: "The Line" strebt eine fußgängerfreundliche Umgebung an, die auch Platz für die Fahrradinfrastruktur bietet. Bürgersteige, Fußgängerzonen und Fahrradspuren könnten integrale Bestandteile der Stadtgestaltung sein.

Vertikaler Transport: In einer Stadt, die auf vertikale Raumnutzung ausgerichtet ist, könnten vertikale Transportsysteme wie Aufzüge und Aufzugssysteme auch für die Bewegung innerhalb von Wolkenkratzern und höheren Gebäuden wichtig sein. (NEOM 2023)

Lufttaxis werden ebenfalls für die Megastadt geplant. Volocopter und Saudi-Arabien haben gemeinsam ein Joint Venture ins Leben gerufen, das die Implementierung intelligenter Mobilität in Neom vorantreibt. Dieses Joint Venture wird der alleinige Betreiber der ersten Strecken in Neom sein und dabei eine innovative Form der Urban Air Mobility (UAM) einführen.

Die UAM-Lösung soll nicht nur den Personenverkehr revolutionieren, sondern auch Logistik, Notfalleinsätze und Tourismus unterstützen. Seit Frühjahr 2022 wird das Mobilitätssystem schrittweise aufgebaut.



Abbildung 9: Transport-Helikopter VOLOCity der Firma Volocopter

Für das Unternehmen aus Deutschland bedeutet dies, ein völlig neues UAM-Ökosystem von Grund auf mitzugestalten, ohne jeglicher Beschränkungen einer Bestehenden Infrastruktur. Diese Kooperation markiert einen bedeutenden Schritt in Richtung der Entwicklung fortschrittlicher Mobilitätslösungen und unterstreicht das Engagement von Volocopter und Saudi-Arabien für die Förderung innovativer Technologien im Bereich der urbanen Luftmobilität. (Wagner 2021)

2.4.4 Keine Autos in The Line

Das revolutionäre Städtebauprojekt "The Line" definiert die konventionelle Stadtplanung neu, indem es den Gebrauch von Autos vollständig eliminiert. In dieser futuristischen Metropole im Nordwesten Saudi-Arabiens sind keine konventionellen Straßen für den Verkehr von autonomen Personenkraftwagen (PKW) vorgesehen. Diese Besonderheit unterscheidet "The Line" grundlegend von konventionellen Städten und stellt eine Herausforderung dar, wenn man sie als Simulationsmodell mit anderen städtischen Umgebungen vergleicht.

Die Entscheidung, auf Autos zu verzichten, steht im Einklang mit der Vision von "The Line", eine nachhaltige, auf den Menschen ausgerichtete Stadt zu schaffen. Die Abschaffung des herkömmlichen Straßennetzes schafft Platz für Grünflächen, Fußgängerwege und innovative Verkehrslösungen, beispielsweise für Radfahrer. Damit sollen nicht nur die Umweltauswirkungen minimiert, sondern auch die Lebensqualität und die soziale Interaktion der Bewohner maximiert werden. (vgl. NEOM 2023)

Dieser einzigartige Ansatz stellt jedoch eine Herausforderung dar, wenn es darum geht, The Line mit herkömmlichen Städten zu vergleichen. Die Tatsache, dass es in der Stadt keine Autos gibt und keine Straßen für autonome Autos gebaut werden, macht es schwierig, direkte Parallelen zu ziehen. Ein solches Konzept ist in konventionellen Städten, die auf Autos und ein etabliertes Straßennetz angewiesen sind, nur schwer umsetzbar. Daher ist "The Line" eher ein bahnbrechendes Experiment als ein direkter Vergleichspunkt für Städte mit konventioneller Verkehrsinfrastruktur. Insgesamt zeigt "The Line" jedoch die Bereitschaft, mutige Schritte in Richtung einer nachhaltigen Stadtentwicklung zu unternehmen. Die Abkehr von der Abhängigkeit vom Auto könnte als Anstoß dienen, darüber nachzudenken, wie künftige Städte so gestaltet werden können, dass sie die Umweltauswirkungen minimieren und die Lebensqualität der Bewohner erhöhen - selbst wenn dies bedeutet, dass traditionelle Vergleichsmodelle überdacht werden müssen.

2.4.5 Das Fahrrad als meistgenutztes Transportwesen in The Line

In Deutschland ist das Das Fahrrad ein beliebtes Verkehrsmittel für kurze Strecken, für den Berufsverkehr, für die Freizeit und für den innerstädtischen Verkehr. Viele Menschen nutzen das Fahrrad als umweltfreundliche und gesunde Alternative zum motorisierten Verkehr. Neben den ökologischen Vorteilen bietet es auch eine erhebliche Kostenersparnis im Vergleich zum Auto. Weniger Ausgaben für Treibstoff, Parken und Wartung machen das Fahrrad zu einer kostengünstigen Option. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die Infrastruktur für Radfahrer in vielen Teilen des Landes noch verbesserungsfähig ist. Ein verstärkter Ausbau von Fahrradwegen und -einrichtungen könnte die Attraktivität des Fahrradfahrens weiter steigern. (Massenger 2021)

Im Gegensatz zu Städten in Deutschland befindet sich The Line derzeit im Bau und verspricht eine zukunftsweisende Infrastruktur für Radfahrer und Fußgänger. Das innovative Projekt strebt danach, eine lebenswerte und nachhaltige Stadtumgebung zu schaffen, die die Bedürfnisse der Bewohner in den Mittelpunkt stellt. Mit einem Fokus auf umweltfreundliche Mobilität wird die The Line eine perfekte Infrastruktur für Radfahrer und Fußgänger bieten. Das bedeutet nicht nur gut ausgebaute Fahrradwege und Fußgängerzonen, sondern auch die Integration modernster Technologien, um die Sicherheit und Bequemlichkeit dieser Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten.

Der Gedanke hinter dieser Planung ist es, die Abhängigkeit vom Auto zu reduzieren und stattdessen nachhaltige Alternativen zu fördern. Durch gut durchdachte Wege, Grünflächen und Gemeinschaftsräume wird das Radfahren (und das Gehen) nicht nur zu einer praktischen Fortbewegungsmöglichkeit, sondern auch zu einem angenehmen Teil des täglichen Lebens werden. Während The Line noch im Bau ist, zeigt sich bereits jetzt, dass die Berücksichtigung von Fußgängern und Radfahrern als integraler Bestandteil des urbanen Lebenskonzepts eine hervorragende Vision für eine moderne Stadt darstellt. Dieser Fokus auf nachhaltige Mobilität wird nicht nur die Lebensqualität der Bewohner verbessern, sondern auch ein Beispiel für andere städtische Entwicklungsprojekte weltweit setzen. (NEOM 2023)

In den nächsten Kapiteln wird eine mögliche Darstellung des Verkehrsnetzes bzw. der Infrastruktur für Fußgänger und Radfahrer innerhalb einer Community, also ein Stadtmodul, mit Hilfe von SUMO präsentiert und analysiert.

3 Verkehrssimulationssoftware SUMO

SUMO beinhaltet mehrere Applikationen, die von großem Nutzen sind. So beinhaltet das Programm die Applikationen Nedit, OSM Web Wizard und das SUMO GUI.

3.1 Erklärung SUMO

SUMO steht für „Simulation of Urban MObility“ und ist eine open-source Simulationssoftware, die vom Institut für Verkehrssystemtechnik vom Deutschen Luftfahrt Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelt wurde.

Die Software ermöglicht es, Verkehrsabläufe in städtischen Gebieten virtuell zu modellieren und zu analysieren. Das Programm unterstützt die Untersuchung von Verkehrsflüssen, Straßennetzwerken, Verkehrsmanagementsystemen und Umweltauswirkungen und ist somit ein wertvolles Instrument für die Planung und Optimierung von Verkehrsinfrastrukturen sowie für die Erforschung von Verkehrslösungen in urbanen Regionen.

3.2 SUMO- Nedit



Abbildung 10:
SUMO Nedit
Logo

SUMO Nedit ist eine grafische Benutzeroberfläche, die im Rahmen der SUMO-Software entwickelt wurde. Es dient zur Erstellung, Bearbeitung und Visualisierung von Verkehrsnetzwerken für Verkehrssimulationen. Nedit ermöglicht es den Benutzern, Straßennetze, Kreuzungen, Fahrspuren, Verkehrszeichen und Verkehrsknotenpunkte interaktiv zu entwerfen und anzupassen. Dieses Tool ist besonders nützlich, um komplexe Verkehrsszenarien in urbanen Gebieten virtuell nachzubilden und anschließend in der SUMO-Simulation zu analysieren.

Um ein Projekt, also ein Verkehrsnetz, erstellen oder modellieren zu können, muss man zuallererst ein neues Netzwerk speichern. Anschließend kann man durch die Tools in der Kommandozentrale wählen, ob man Straßen/Spuren hinzufügen oder entfernen möchte. Straßenparameter, wie beispielsweise Spurenanzahl, sind ebenso in Nedit möglich.

Auch lassen sich Verhaltensregeln für Agenten (Passanten, Fahrradfahrer, Autofahrer, etc.) bestimmen in Form von Geschwindigkeit, Vorfahrtsregeln an Straßen, Ampelsysteme, Reaktionen auf Verkehrszeichen und Signale und viele weitere spezielle Verhaltensregeln.

3.3 SUMO OSM Web Wizard



Abbildung 11:
SUMO OSM Web
Wizard Logo

Der OSM Web Wizard (kurz OSM W-W) ist ein Tool im Zusammenhang mit der SUMO-Software, das speziell für die Erstellung von Verkehrsnetzen aus OpenStreetMap-Daten (OSM) entwickelt wurde. OpenStreetMap ist eine offene und kollaborative Plattform, auf der Nutzer geografische Daten erstellen, bearbeiten und teilen können.

Der OSM-W-W ermöglicht es, OpenStreetMap-Daten zu nutzen, um Verkehrsnetzwerke für die Verkehrssimulation in SUMO zu generieren. Dieses Tool automatisiert den Prozess der Umwandlung von OSM-Daten in ein SUMO-kompatibles Format, das für Simulationen verwendet werden kann.

So lässt sich mithilfe der Bereichsauswahl ein Bereich auf der Karte (OSM) auswählen, den man für die Simulation benötigt. In manchen Fällen jedoch reagiert das System nach Auswahl des Bereichs nicht mehr und generiert kein Szenario auf dem SUMO GUI; dann ist meist der ausgewählte Bereich und die Übertragung auf das SUMO GUI für die Rechenleistung des Rechners zu groß.

In Folgender Abbildung sieht man einen Screenshot aus dem OSM-W-W. Dieser öffnet sich nach starten des Programms im Internetbrowser und erhält einen eigenen Tab in diesem.

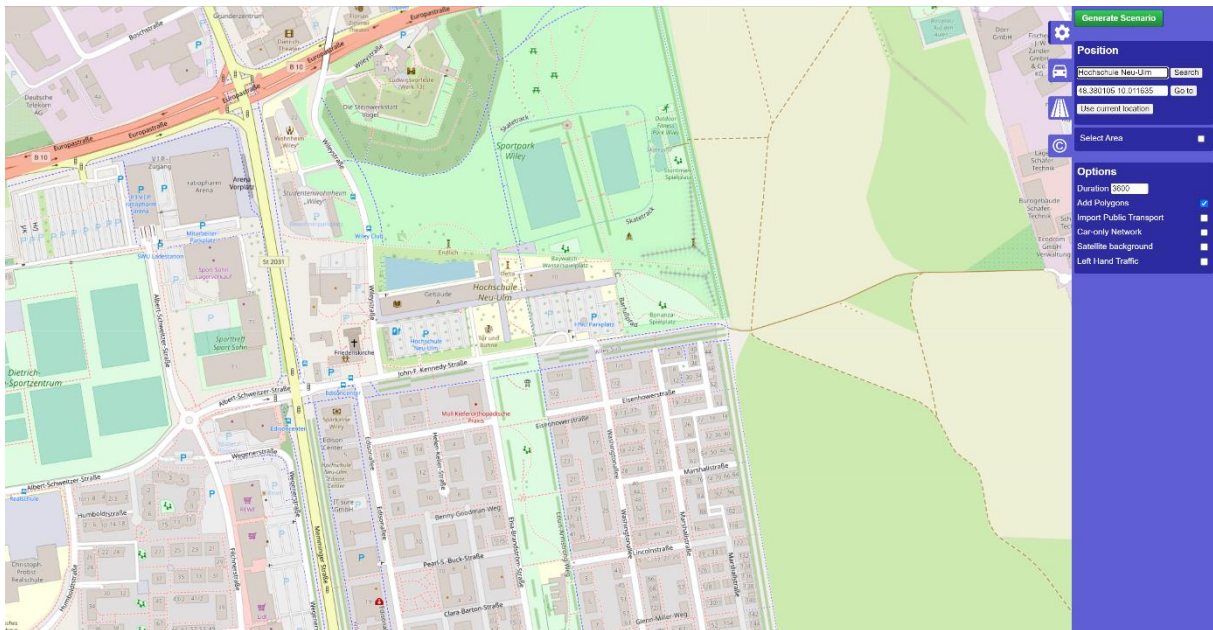


Abbildung 12: Screenshot aus SUMO OSM Web Wizard in Google Chrome

Erkenntlich an dieser Abbildung ist abgesehen von der Karte des HNU-Geländes der blaue Funktionsbalken. Mithilfe der Tools rechts im Bild (von oben nach unten: Zahnrad, Auto, Autobahn, Copyright-Zeichen) lassen sich die genaue Position des gewünschten Bereichs auswählen, die Art der Verkehrsrichtung, eine Satellitenkarte und auch ein „nur-Auto-Verkehrsnetz“ auswählen.

Ebenso lassen sich die Anzahl der Fahrzeuge, die jede Sekunde im Bereich der ausgewählten Simulation ein- und ausfahren einstellen.

Nach dem Generieren eines Verkehrsszenarios öffnet sich das SUMO-GUI (Graphical User Interface).

3.4 Das SUMO-GUI



Abbildung 13: SUMO-GUI Logo

Die SUMO-GUI ist die grafische Benutzeroberfläche der SUMO-Software. Die grafische Benutzeroberfläche ist ein wichtiges Werkzeug, das es Benutzern ermöglicht, Verkehrsnetzwerke zu erstellen, Simulationseinstellungen anzupassen, Simulationen durchzuführen und die Ergebnisse zu visualisieren. In diesem Programm werden die Simulationen von Netedit und OSM-W-W generiert und abgespielt.

Es listet für jeden Agenten (Passanten und Fahrzeuge), der die Simulation durchläuft, die Werte, die relevant für den Straßenverkehr sind. So kann man mit diesen Werten herausfiltern, welches Fahrzeug am meisten gefahren ist, wie viel (Gesamt-)Sprit-Verbrauch in der Simulation entstand, wie viele Emissionen entstanden sind und viele weitere Werte, wie beispielsweise Kollisionen und Wartezeiten von Fahrzeugen und Passanten.

Mit den zuvor eingegebenen Daten, wie beispielsweise eingehende Fahrzeuganzahl pro Sekunde oder Gesamtlaufzeit der Simulation, kann man anschließend über einen Klick die Simulation starten.

In Folgendem Beispiel sieht man, dass die Simulation nach 3.632 Sekunden beendet wurde, da zuvor die Simulationszeit auf 3.600 Sekunden eingestellt war (siehe „Duration“ in Abbildung 12).

In dieser Zeit sind Fahrzeuge und Passanten in und aus dem Simulationsbereich gefahren. Sie haben die Standard Verhaltensregeln erhalten, da sie zuvor nicht über den OSM-W-W verändert wurden. Das heißt, dass Sie keine vorgegebenen Geschwindigkeiten überschritten haben.

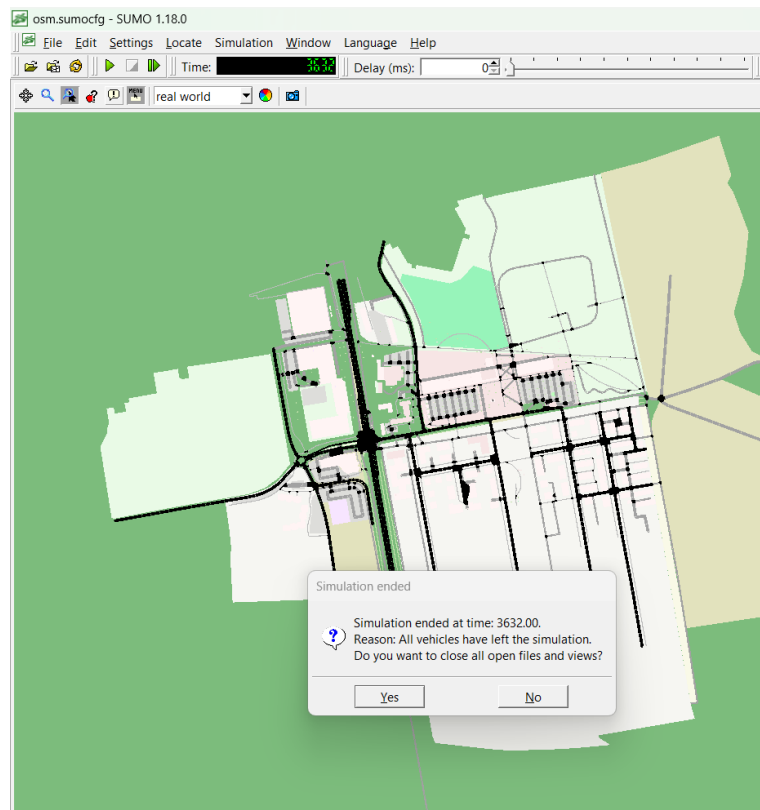


Abbildung 14: Screenshot aus SUMO-GUI nach Beendigung der Simulation (HNU-Gelände)

In dieser Simulation sind 135 Fahrzeuge geladen worden. Es gab keine Unfälle (collisions) und eine durchschnittliche Verspätung von 17,93 Sekunden pro Fahrzeug.

Aus Abbildung 15 lässt sich ebenfalls entnehmen, dass die durchschnittliche Fahrtlänge 737,37 Meter beträgt und die durchschnittliche Geschwindigkeit 7,65 Meter pro Sekunde beträgt. In SUMO werden die Geschwindigkeiten immer in Metern pro Sekunde angegeben. Umgerechnet sind das 27,54 Km/h.

network: Parameter		
Name	Value	Dynamic
loaded vehicles [#]	135	
insertion-backlogged vehicles [#]	0	
departed vehicles [#]	135	
running vehicles [#]	0	
arrived vehicles [#]	135	
discarded vehicles [#]	0	
collisions [#]	0	
teleports [#]	0	
halting [#]	0	
stopped [#]	0	
avg. speed [m/s]	-1.00	
avg. relative speed	-1.00	
end time [s]	-1	
begin time [s]	0	
step duration [ms]	0	
FPS	250.00	
simulation duration [ms]	0	
idle duration [ms]	0	
duration factor	-1.00	
updates per second	-1.00	
avg. updates per second	42522.88	
avg. trip length [m]	737.37	
avg. trip duration [s]	96.39	
avg. trip waiting time [s]	5.99	
avg. trip time loss [s]	17.93	
avg. trip depart delay [s]	0.52	
avg. trip speed [m/s]	7.65	
nodes [#]	405	
edges [#]	937	
total edge length [km]	39.63	
total lane length [km]	41.42	
network version	1.16	

Abbildung 15: Ergebnisse Simulation

4 Erstellung eines Stadtmoduls in The Line mit Netedit (SUMO)

In diesem Kapitel wird die Erstellung eines Stadtmoduls in The Line protokolliert sowie analysiert. Der Entwurf des Stadtmoduls erfolgt mit SUMO Netedit.

4.1 Bekannte Informationen zu Stadtmodulen (Modules)

Von NEOM, dem ehrgeizigen Entwicklungsprojekt in Saudi-Arabien, ist bekannt, dass die Einwohner von The Line in Stadtmodulen leben werden. Die Module sind miteinander Verknüpft. Dies soll dazu dienen, dass „[...] alles in fünf Minuten zu Fuß zu erreichen ist“. (NEOM 2023)

Um einen ungefähren Einblick in solch innovative Stadtmodule zu haben und sie mit anderen herkömmlichen Infrastrukturen aus anderen Städten vergleichen zu können, wird mithilfe von SUMO Netedit eine Community nachgebaut. Ein Modul ist in etwa 800 Meter lang und 500 Meter hoch. Da in SUMO keine 3D-Verkehrsskizzen realisierbar sind, erfolgt dies auf zweidimensionaler Ebene.

Aus den bekannten Maßen (siehe 2.4.1) kann man folglich mit einer Breite von 200 Metern pro Stadtmodul rechnen. (WikipediaEN 2023)

Auf insgesamt 135 Stadtmodulen werden 9 Millionen Menschen leben – trotz dessen, dass die Stadt nur 170 Kilometer lang und 200 Meter breit ist. Umgerechnet würde dies eine Einwohnerzahl von 66.667 Menschen pro Modul ergeben, welche sich auf horizontaler sowie vertikaler Ebene verteilt befinden werden.

4.2 Entwurf von Stadtmodulen in Netedit

Aufgrund keiner bisher vorhandenen Skizzen bzw. Straßennetzen, die von NEOM offiziell bekanntgegeben wurden, wurde mithilfe von Netedit ein 800 Meter langes und 200 Meter breites Straßennetz entworfen, das sich an den Konzeptbildern von The Line aus Videomaterialien orientiert. Dieses Verkehrsnetz ist für die Nutzung von Radfahrern sowie Passanten gedacht, da auf SUMO keine dreidimensionalen Netze entworfen werden können.

Um in SUMO ein Verkehrsnetz anlegen zu können, eignet sich die Netedit Applikation als ein nützliches Tool. Mit diesem Tool lässt sich nach Belieben ein Verkehrsnetz erstellen, Schnittpunkte, Kanten und Straßen festlegen. Um ein mit den



Abbildung 16: Bearbeiteter Screenshot von einem Stadtmodul aus einem Konzeptvideo NEOMs

Konzeptbildern und -videos vergleichbares Verkehrsnetz entwerfen zu können, wurden mit Hilfe eines Screenshots (siehe Abbildung 16) die Straßen zwischen Gebäuden skizziert.

Das per Hand aufgezeichnete Verkehrsnetz wurde anschließend in SUMO Nedit nachgebaut und die jeweiligen Ecken und Kanten der Straßen miteinander verknüpft. In der Folgenden Abbildung ist dieser Prozess grafisch dargestellt. Die Maße des Stadtmoduls belaufen sich auf 800 Metern in der Länge und 200 Metern in der Breite (siehe Abbildung 17).

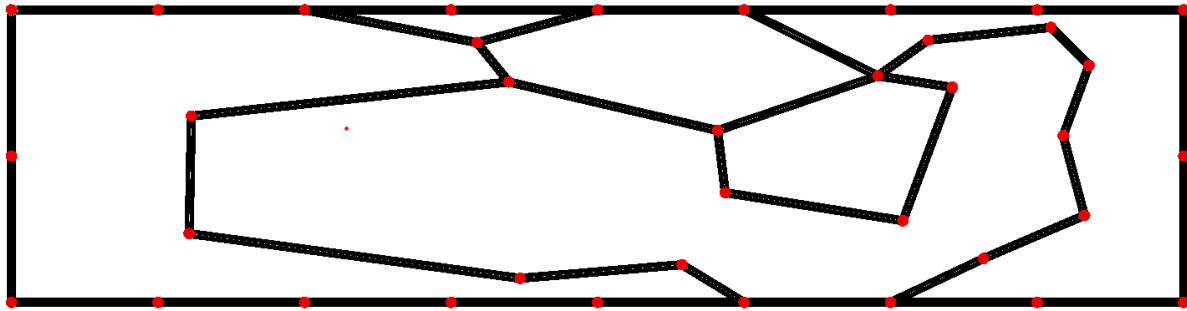


Abbildung 17: erstelltes Verkehrsnetz in Nedit in Rohform

Nach dem Erstellen des Verkehrsnetzes (Abbildung 17) wurden Passanten und Radfahrer in die Umgebung eingefügt. Da sich auf der Oberfläche der Stadtmodule keine Fahrzeuge oder für diese geeigneten Straßen befinden werden, wurden in dieser Simulation nur Radfahrer und geeignete Radspuren eingebaut.

Die Simulation umfasst 10 Passanten sowie 120 Radfahrer, die in die Simulation ein- und austreten werden.

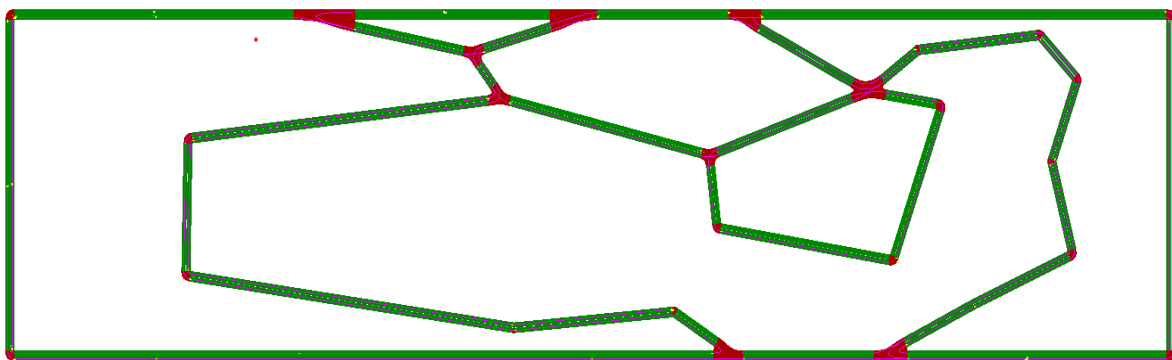


Abbildung 18: Erstellen von Routen für Radfahrer und Passanten in Nedit (SUMO)

Im nächsten Schritt werden die Routen für die Radfahrer und Passanten festgelegt. Man weist den Agenten einen Start- und Endpunkt zu, sodass sich die Route von schwarz auf grün färbt. Wie in Abbildung 18 erkenntlich, ist jede Straße von Abbildung 17 nun grün. Dies liegt daran, dass für jeden der 120 Radfahrer sowie für jeden der 10 Passanten eine individuelle Route erstellt wurde. In diesem Beispiel wurde jede Straße des Stadtmoduls als Teil der jeweiligen Route eines Agenten genutzt.

4.3 Testlauf in SUMO-GUI

Der Testlauf des Verkehrsnetzes erfolgt in der Applikation SUMO-GUI. Hierfür werden die Daten und Parameter, welche über Nedit eingestellt wurden, an das SUMO-GUI übermittelt. Auf Knopfdruck startet man die Simulation.

Für diese Simulation wurde eine Dauer von 4.400 Sekunden eingestellt.

Im SUMO-GUI werden die Radsuren des Verkehrsnetzes in Schwarz mit gestrichelten Linien abgebildet, da die Straßen mit Gegenverkehr modelliert wurden. Ebenfalls sind dann auch die Radfahrer sowie Passanten in ihrer Startposition zu sehen, bis man die Simulation startet. Nach Start der Simulation laufen bzw. fahren diese je nach eingegebener Geschwindigkeit entlang ihrer Route, bis sie ihren Endpunkt erreicht haben. (Siehe Abbildung 19)

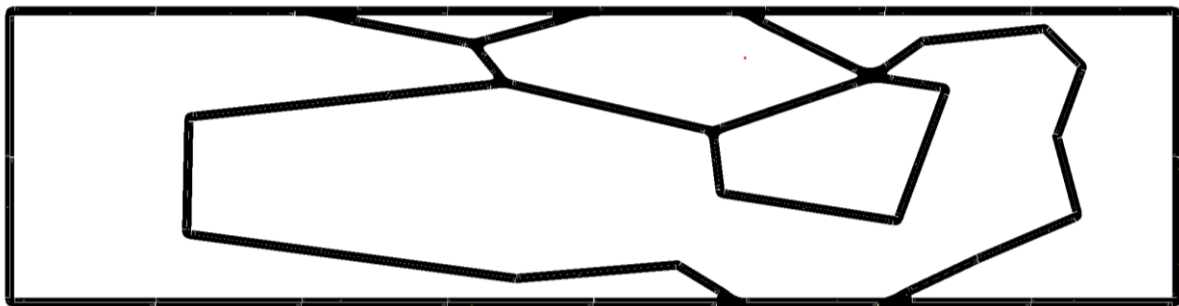


Abbildung 19: Verkehrsnetzwerk in SUMO-GUI

In Folgender Abbildung ist ein Teil des Verkehrsnetzes mit seinen Radfahrern an ihren Startpositionen vergrößert dargestellt. Die Radfahrer bilden in SUMO ein Dreieck, dessen Spitze die Fahrtrichtung der jeweiligen Agenten darstellt. In diesem Beispiel sind sie gelb (siehe Abbildung 20).

Um den Verkehrsfluss zu optimieren, wurden Verkehrsampeln modelliert, die an viel befahrenen Kreuzungen stehen.

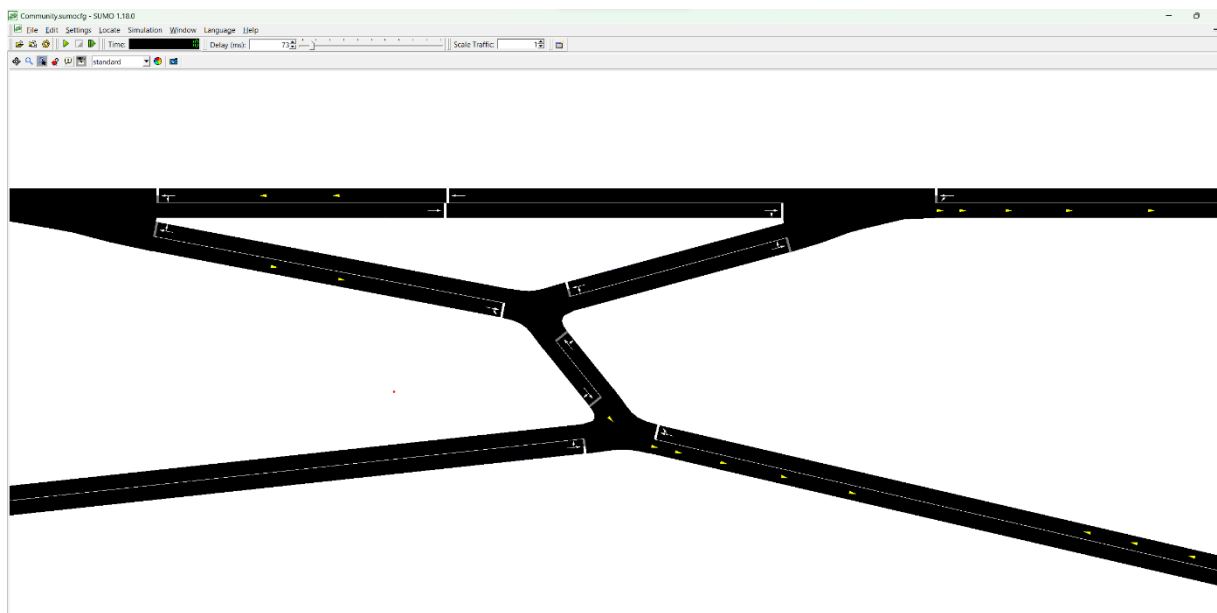


Abbildung 20: Vergrößerte Ansicht auf Abbildung 19; Radfahrer sind in Gelb markiert

Bei ersten Testsimulationen ergab sich eine erhöhte Wartezeit an Kreuzungen, die dann zu Stopps im Verkehrsfluss führte.

In folgender Abbildung sieht man die Verkehrsampeln, welche an den drei Kreuzungen mit dem größten Radfahrer- und Fußgängeraufkommen aufweisen.

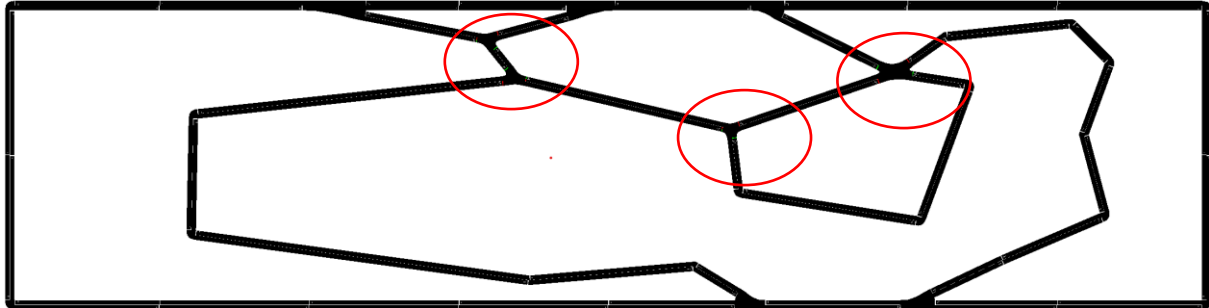


Abbildung 21: Ampelsysteme an vielbefahrenen Kreuzungen (siehe rote Kreise)

Das Einsetzen von Verkehrsampeln optimiert den Verkehr erheblich, indem sie den Verkehrsfluss steuern, den Verkehr sicherer machen und Staus reduzieren. Sie dienen als Kontrolle des Verkehrsflusses und geben die Vorfahrtsregelungen an. Durch Verkehrsampeln verteilt sich der Verkehr gleichmäßig und sie verhindern, dass sich der Verkehr auf einer Straße oder an einer Kreuzung staut.

5 Simulation des erstellten Stadtmoduls

In diesem Kapitel werden die erlangten Daten der Simulation eines Stadtmoduls in The Line beobachtet und anschließend validiert.

5.1 Verkehrsdaten aus Stadtmodulen in The Line in SUMO

Der Verkehr in 3.2 wurde mit 120 Radfahrern sowie 10 Passanten simuliert. Das Simulationsmodell gleicht einem Agentenbasierten-Modell (Erklärung: siehe 2.1). Fahrradfahrern und Passanten wurden Geschwindigkeit (zurückgelegte Strecke in Metern pro Sekunde), Start- und Zielpunkte und Verhaltensregeln zugeteilt.

5.1.1 Parameter der Radfahrer

Maximale Geschwindigkeit:	5,55 Meter pro Sekunde; entspricht 20 Kilometer pro Stunde
Weiteste zurückgelegte Strecke:	Fahrrad-ID t_106 hat 3.418,73 Meter zurückgelegt
CO2 Ausstoße:	Keine
Stickoxide:	Keine
Feinstaub:	Keine

5.1.2 Parameter der Passanten

Maximale Geschwindigkeit:	1,39 Meter pro Sekunde; entspricht 5 Kilometer pro Stunde
Weiteste zurückgelegte Strecke:	Person-ID p_2 hat 472,82 Meter zurückgelegt
CO2 Ausstoße:	Keine
Stickoxide:	Keine
Feinstaub:	Keine

5.2 Daten aus dem simulierten Straßennetz Manhattans

In diesem Beispiel wurde eine etwa gleichgroße Fläche eines Teils Manhattans (NYC) genutzt. Der Bereich beginnt an der East 41st Street über die 5th Avenue und Madison Avenue und endet an der East 51st Street. (Siehe Abbildung 15 und 16)

Google Maps gibt die Entfernung von der E 41st Street bis zur E 51st Street mit 805,38 Metern an, und die Entfernung von 5th Avenue zur Madison Avenue werden mit 160,6 Metern angegeben. Genau betrachtet ist die Breite des Verkehrsnetzes zu klein (nämlich um 39,4 Meter), ist aber gut genug, um die anschließenden Ergebnisse aus der Simulation mit Werten aus den Stadtmodulen von The Line zu vergleichen.

Über die Applikation OSM WEB WIZARD von SUMO wurde ein Bereich dafür ausgewählt, der die Breite und Länge des ausgewählten Bereichs in Manhattan erfüllt und somit vergleichbar mit einem Stadtmodul von The Line macht. Über das SUMO-GUI wurden anschließend S-Bahnen, Straßenbahnen, Schiffsverkehr und Flugverkehr abgewählt, woraufhin man in der Simulation nur Autos, Busse, LKW, Radfahrer, Motorräder fahren und Passanten laufen ließ.

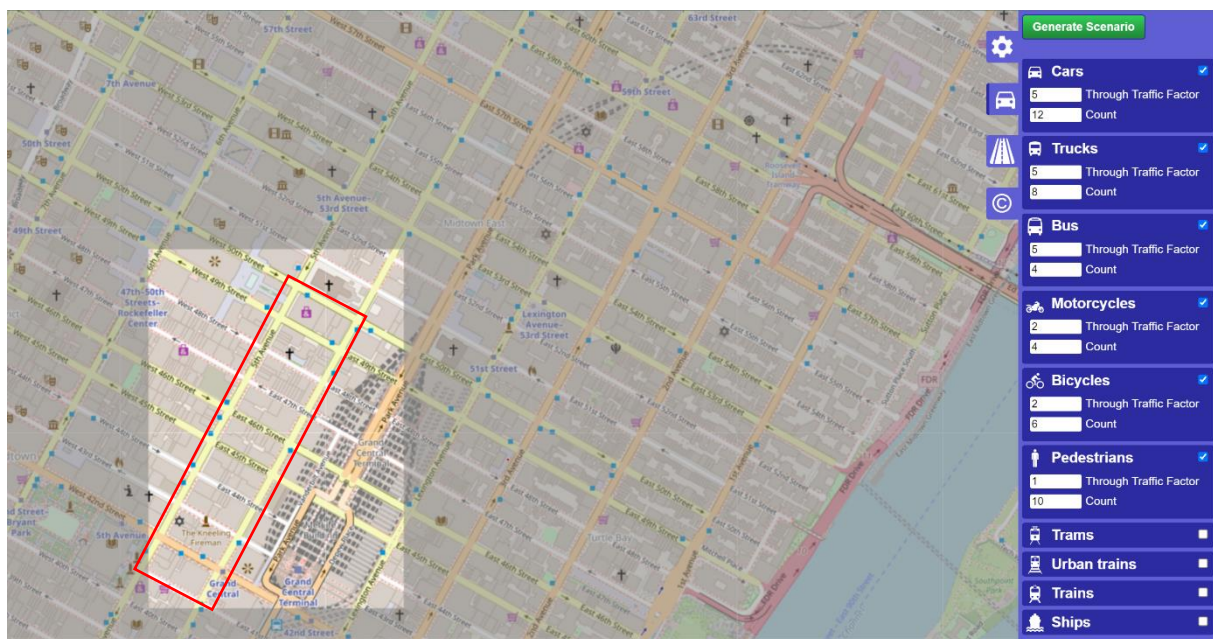


Abbildung 22: Interface OSM-WEB WIZARD von SUMO; roter Bereich entspricht dem Simulationsfeld

Die Straßen um die ausgewählte Simulationszone wurden ignoriert, sodass sich ein vergleichbares Ergebnis zu Stadtmodulen in The Line ergeben kann. Das heißt, dass lediglich die Werte, die durch Fahrzeuge und Passanten im rot-markierten Bereich ausgewertet werden.



Abbildung 23: Screenshot aus SUMO-GUI

5.2.1 Gesamtübersicht aus Verkehrssimulation in SUMO

In der Simulation sind insgesamt 918 Fahrzeuge gefahren. Dazu zählen Busse, Autos, LKW, Motorräder und Fahrräder. Die Personenanzahl ist 275. Diese werden jedoch nur teilweise berücksichtigt, da sie keine Werte zu Schadstoffen, Umweltbeeinflussung und Geräuschpegel etc. aufweisen.

In der folgenden Tabelle (1) sind die Werte in der Simulation Geladene Fahrzeuge, Angekommene Fahrzeuge, Kollisionen/Unfälle, Verzögerungen, durchschnittliche Geschwindigkeiten in Metern pro Sekunde, in der Simulation geladene Personen, durchschnittliche Länge der Reise/Fahrt in Sekunden, durchschnittliche Fahrdauer in Sekunden, durchschnittliche Wartezeit in Sekunden, durchschnittlicher Reisezeitverlust in Sekunden, durchschnittliche Verspätung der Abfahrt in Sekunden, durchschnittliche Reisegeschwindigkeit in Metern pro Sekunde, durchschnittlicher Laufweg in Metern, durchschnittliche Gehzeit in Sekunden und durchschnittlicher Zeitverlust beim Gehen in Sekunden.

loaded vehicles [#]	918
departed vehicles [#]	918
collisions [#]	0
halting [#]	7
avg. speed [m/s]	5.69
loaded persons [#]	275
avg. trip length [m]	1023.13
avg. trip duration [s]	153.01
avg. trip waiting time [s]	26.02
avg. trip time loss [s]	68.34
avg. trip depart delay [s]	0.69
avg. trip speed [m/s]	6.69
avg. walk length [m]	536.21
avg. walk duration [s]	460.25
avg. walk time loss [s]	74.72

Tabelle 1: Gesamtübersicht der Agenten in der Simulation von Abbildung 23

5.2.2 Simulationswerte aus Manhattan für Bus, Auto, LKW, Motorrad und Fahrrad

Für die Simulationszone in Abbildung 15 sind die relevantesten Werte von den jeweils am weitesten gefahrenen Fahrzeugen - der Fahrzeugtypen Bus, Auto, LKW, Motorrad sowie Fahrrad - herausgefiltert worden und werden im Folgenden analysiert. Die Spitzenwerte der jeweiligen Typen sind rot hinterlegt.

Bus ID b_113		Auto ID C_57		LKW ID tr_12		Motorrad ID b_23		Fahrrad ID t_47	
time loss [s]	50.05	time loss [s]	43.33	time loss [s]	11.39	time loss [s]	78.65	time loss [s]	24.12
odometer [m]	866.87	odometer [m]	952.17	odometer [m]	550.31	odometer [m]	1078.98	odometer [m]	396.38
CO2 [mg/s]	26629.52	CO2 [mg/s]	4251.63	CO2 [mg/s]	7381.41	CO2 [mg/s]	3581.42	CO2 [mg/s]	0.00
CO [mg/s]	38.56	CO [mg/s]	8.72	CO [mg/s]	15.20	CO [mg/s]	13.11	CO [mg/s]	0.00
HC [mg/s]	7.58	HC [mg/s]	5.25	HC [mg/s]	6.21	HC [mg/s]	03.47	HC [mg/s]	0.00
NOx [mg/s]	200.43	NOx [mg/s]	72.40	NOx [mg/s]	84.89	NOx [mg/s]	52.56	NOx [mg/s]	0.00
PMx [mg/s]	4.16	PMx [mg/s]	1.06	PMx [mg/s]	2.21	PMx [mg/s]	0.84	PMx [mg/s]	0.00
fuel [mg/s]	8427.34	fuel [mg/s]	1502.37	fuel [mg/s]	2321.94	fuel [mg/s]	659.41	fuel [mg/s]	0.00
noise [dB]	77.51	noise [dB]	54.43	noise [dB]	66.99	noise [dB]	50.45	noise [dB]	0.00
speed [m/s]	12.82	speed [m/s]	15,54	speed [m/s]	10,52	speed [m/s]	14,69	speed [m/s]	4,95

Tabelle 2: Parameter der Agentenbasierten Simulation aus Abbildung 15

Auffallend in dieser Tabelle ist, dass der Bus mit der am meisten zurückgelegten Fahrtstrecke mit 26.629,52 Milligramm CO2 Ausstoß pro Sekunde einen enorm hohen Wert aufweist. Die des (simulierten) Busses gefahrene Strecke beträgt 866,67 Meter. Auch die Lautstärke, die durch Motorräder und Busse entstehen, sind mit Abstand die höchsten Werte.

Aus einer Studie des Umweltbundesamtes Deutschlands geht heraus, dass tagsüber der Mittelungspegel nicht über 65 dB(A) und nachts nicht über 55 dB(A) überschritten werden. Überschreitungen der Pegelwerte können zu Störungen im emotionalen und zwischenmenschlichen Wohlbefinden führen. (Umweltbundesamt 2022)

6 Ergebnisse der Datenerfassung und -verarbeitung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der angewandten Methodik aufgezeigt. Neben den Vergleichen der Simulationswerte aus SUMO werden die Ergebnisse der Online-Umfrage dargestellt.

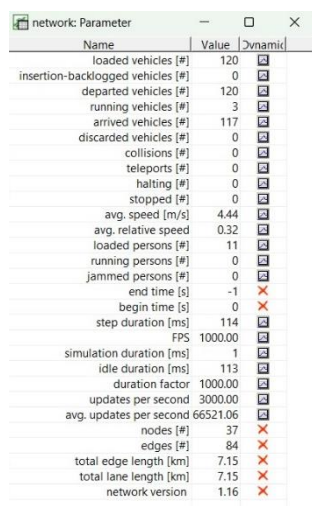
6.1 Datenvalidierung aus Simulationswerten von Stadtmodulen in The Line und Manhattan

In diesem Unterabschnitt werden die Ergebnisse der zur Validierung der Daten verwendeten Methodik vorgestellt. Die Daten wurden durch die Simulation von Verkehrsszenarien in SUMO erhoben, insbesondere durch die Analyse der Stadtmodule The Line und Manhattan. Der Schwerpunkt liegt auf der Validierung der Simulationswerte und dem Vergleich zwischen den beiden städtischen Umgebungen.

6.1.1 Validierung der Simulationswerte in The Line

Die von SUMO für Communities in The Line erzielten Ergebnisse werden im Detail analysiert und mit den erwarteten Werten verglichen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf verschiedenen Parametern wie Verkehrsfluss, Durchschnittsgeschwindigkeiten und Wartezeiten. Die Validierung erfolgt anhand von realen Verkehrsdaten und Modellen, die für den Stadtverkehr erstellt wurden.

In der Simulation der erstellten Community in SUMO haben sich für 120 Radfahrer und 11 Passanten folgende Werte ergeben:



Name	Value	Dynamic
loaded vehicles [#]	120	☒
insertion-backlogged vehicles [#]	0	☒
departed vehicles [#]	120	☒
running vehicles [#]	3	☒
arrived vehicles [#]	117	☒
discarded vehicles [#]	0	☒
collisions [#]	0	☒
teleports [#]	0	☒
halting [#]	0	☒
stopped [#]	0	☒
avg. speed [m/s]	4.44	☒
avg. relative speed	0.32	☒
loaded persons [#]	11	☒
running persons [#]	0	☒
jammed persons [#]	0	☒
end time [s]	-1	☒
begin time [s]	0	☒
step duration [ms]	114	☒
FPS	1000.00	☒
simulation duration [ms]	1	☒
idle duration [ms]	113	☒
duration factor	1000.00	☒
updates per second	3000.00	☒
avg. updates per second	66521.06	☒
nodes [#]	37	☒
edges [#]	84	☒
total edge length [km]	7.15	☒
total lane length [km]	7.15	☒
network version	1.16	☒

-Aus der Tabelle ist herauslesbar, dass von 120 geladenen Radfahrern 117 das Ziel angefahren haben, 3 jedoch nicht. Ebenso sind von 11 in der Simulation geladene Personen alle 11 an Ihr Ziel gekommen.

-Die Parameter-Tabelle zeigt auch, dass man eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 4,44 Metern pro Sekunde hatte. In Kilometern pro Stunde sind das 15,98 km/h.

-Es gab keine Unfälle/Kollisionen.

Abbildung 24: Parameter aus der Simulation einer Community

6.1.2 Vergleich mit Manhattan

Um die Aussagekraft der Simulation zu erhöhen, wurden die Simulationsergebnisse von The Line mit denen von Manhattan verglichen. Dies ermöglicht eine umfassende Bewertung der Verkehrssituation auf The Line im Vergleich zu einer etablierten städtischen Umgebung.

Um die Vergleiche bzw. Validierung zu vereinfachen, werden die Stammdaten der Parameter aus beiden Simulationen [*Manhattan* (Bereich: E 41st Street bis zur E 51st Street + 5th Avenue zur Madison Avenue) und eine *Community aus The Line*] gegenübergestellt.

	Manhattan	Community	Differenz
loaded vehicles [#]	918	120	-798
departed vehicles [#]	918	120	-798
collisions [#]	0	0	0
halting [#]	7	0	-7
avg. speed [m/s]	5.69	4.44	-1.25
loaded persons [#]	275	11	-265

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Parameter (Manhattan zu Community in The Line)

Erkenntlich aus den Simulationswerten Manhattans ist, dass deutlich mehr Fahrzeuge und Passanten geladen wurden. Mit 918 geladenen Fahrzeugen hat die Simulation des Bereiches in Manhattan genau 798 Fahrzeuge mehr geladen als die Simulation einer Community.

Dies liegt daran, dass für die Simulation einer Community nicht so viele Fahrzeuge hinzugefügt wurden, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass gleichzeitig so viele Menschen in einer Community das Rad benutzen.

In beiden Fällen sind die geladenen Fahrzeuge bzw. Radfahrer (Agenten) sicher von Anfang bis ans Ziel gefahren, ohne Schäden bzw. Unfälle zu verursachen.

In der Simulation des Bereiches Manhattans kam es insgesamt zu sieben Stopps im Verkehr, so entstanden Rückstaus. In der Simulation der Community von The Line kam es zu keinen Stopps, lediglich die Wartezeiten an den Ampeln sind hier vorgefallen.

Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Fahrzeuge in Manhattan betrug 5,69 Meter/Sekunde. Dies entspricht 21,24 Kilometern/Stunde. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Radfahrer der simulierten Community beträgt 4,44 Meter/Sekunde; also 15,84 Kilometer/Stunde.

Der Unterschied der beiden Geschwindigkeiten liegt zum einen daran, dass Fahrradfahrer in SUMO nicht schneller als 20 Kilometer/Stunde fahren können und es in der Manhattan-Simulation PKW etc. geladen wurden, welche deutlich schneller fahren können als Radfahrer. Dennoch beträgt der durchschnittliche Geschwindigkeitsunterschied nur 4,6 Kilometer/Stunde.

Auch die geladenen Personen (nämlich 275 Personen/Agenten in Manhattan, 11 Personen/Agenten in der simulierten Community) haben einen hohen Unterschied, was die Anzahl betrifft. Auch hier liegt dies daran, dass zeitgleich nicht allzu viele Menschen in einer Community zu Fuß unterwegs sein werden, sondern eher die geplanten unterirdischen Fortbewegungsmittel (wie z.B. Hochgeschwindigkeitszüge) nutzen werden. Mithilfe der ermittelten Parameter kann im Anschluss durch die Online-Umfrage-Auswertung ein eigenes Bild davon gemacht werden, wie genau eine Simulation eigentlich arbeiten kann.

6.2 Die Online-Umfrage

Der Abschnitt "Ergebnisse der Datenerhebung und -verarbeitung" gibt einen detaillierten Einblick in die Verkehrssituation auf der Strecke, und zwar nicht nur auf der Grundlage simulationsbasierter Daten, sondern auch unter Einbeziehung der menschlichen Perspektive durch eine Online-Umfrage. Die Ergebnisse dieser Umfrage tragen dazu bei, ein ganzheitliches Verständnis der Verkehrsrealität auf der Strecke zu gewinnen.

6.2.1 Umfragekonzeption und-durchführung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine Online-Umfrage konzipiert und durchgeführt, deren Teilnehmerkreis bewusst auf meinen persönlichen Bekannten- und Freundeskreis beschränkt war. Diese gezielte Auswahl erfolgte mit dem klaren Ziel, einen "Reality-Check" zu realisieren, der auf einem vertrauten Umfeld basiert. Die Entscheidung, die Umfrage auf meine engere soziale Gruppe zu fokussieren, wurde strategisch getroffen, um authentische und tiefgehende Einblicke in das Thema zu gewährleisten.

Die Fragen wurden so formuliert, dass sie einen tieferen Einblick in das tägliche Leben der Teilnehmer, ihre Herausforderungen und Erwartungen im Zusammenhang mit der "Linie" ermöglichten. Eine begrenzte, aber vertraute Gruppe trug dazu bei, ehrliche und vielfältige Meinungen zu sammeln, und ermöglichte einen zuverlässigen "Realitätscheck".

Die Umfrage wurde online durchgeführt, was eine flexible Teilnahme und ein offenes Feedback ermöglichte. Die Teilnehmer wurden ermutigt, ihre subjektiven Eindrücke, Bedenken und Vorschläge frei zu äußern, um ein breites Spektrum von Perspektiven zu erfassen.

Die bewusste Auswahl der Teilnehmer und die Konzentration auf persönliche Beziehungen verleihen den Umfrageergebnissen eine authentische Note. Dies ermöglicht einen tiefen Einblick in die tatsächlichen Wahrnehmungen und Erwartungen der potenziellen Nutzer des Verkehrssystems.

6.2.2 Online-Umfrage

Die Fragen und Antworten werden im Folgenden in korrekter Reihenfolge wiedergegeben.

Der Link zur Online-Umfrage wurde insgesamt 113-mal geöffnet. Die Umfrage wurde 101-mal von insgesamt 113 Personen vollständig bearbeitet. Die restlichen 12 Personen haben die Umfrage unvollständig beendet. Somit liegt eine Vollständigkeitsrate von 89,4 Prozent vor.

Die Umfrage beinhaltete 12 Fragen, welche wie folgt beantwortet wurden:

1. Bitte Wählen Sie Ihre Geschlechtsidentität aus den folgenden Optionen:

- a. Männlich: **64 Stimmen**
- b. Weiblich: **37 Stimmen**
- c. Divers: **0 Stimmen**

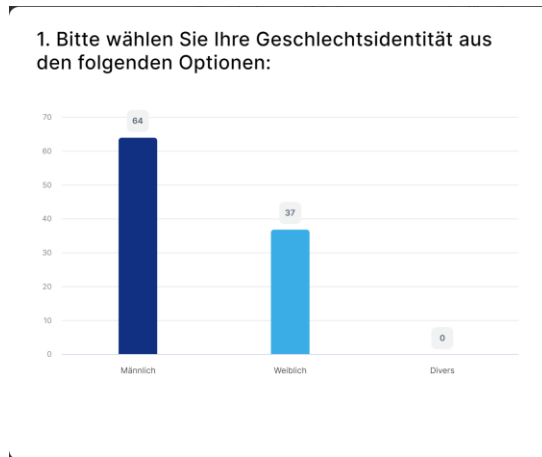


Abbildung 25: Geschlechterverteilung der Umfrageteilnehmer; Eigene Darstellung

Die Umfrage wurde von 64 männlichen und 37 weiblichen Teilnehmern vollständig beantwortet.

2. Wie alt sind Sie? Es reicht lediglich die Zahl in Jahren:

- a. 17-26: **38 Stimmen**
- b. 27-35: **27 Stimmen**
- c. 36-44: **18 Stimmen**
- d. 45-55: **11 Stimmen**
- e. 56-67: **7 Stimmen**

2. Wie alt sind Sie? Es reicht lediglich die Zahl.

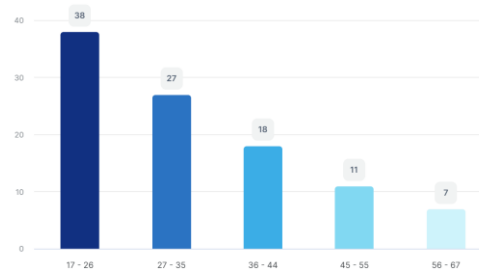


Abbildung 26: Altersverteilung der Umfrageteilnehmer; Eigene Darstellung

Aus den Antworten der Umfrage geht hervor, dass 37,8 Prozent der Befragten zwischen 17 und 26 Jahren sind. Somit ist etwas mehr als ein Drittel im Alter zwischen 17 und 26 Jahren. 26,9 Prozent der Befragten sind zwischen 27 und 35 Jahren alt. In Summe ergibt sich aus diesen relativen Zahlen für Befragte im Alter zwischen 17 und 35 Jahren ein Satz in Höhe von 64,7 Prozent und entspricht somit fast zwei Dritteln aller Befragten.

3. Welchem Verkehrssystem fühlen Sie sich näher? Bitte wählen Sie eine Option:

- a. Dem traditionellen Verkehr (Nutzung von PKW, Motorrädern, Fahrrädern, etc. – Beispiel: Manhattan, NYS, USA): **89 Stimmen**
- b. Einem Verkehrssystem, das auf Passanten und Radfahrer zugeschnitten ist (Keine PKW, keine Straßen wie in herkömmlichen Verkehrsnetzen – Beispiel: Megaprojekt The Line in Saudi-Arabien, NEOM): **12 Stimmen**

3. Welchem Verkehrssystem fühlen Sie sich näher? Bitte wählen Sie eine Option:



[Öffnen Sie Detail-Chart](#) | [Pivot-Tabelle](#)

Abbildung 27: Verteilung des bevorzugten Verkehrssystems

Die Ergebnisse zeigen, dass 88,1% der Befragten eine stärkere Bindung zum traditionellen Verkehrssystem empfinden, wie es beispielsweise in Großstädten à la Manhattan praktiziert wird.

Dieses System integriert eine Vielzahl von Verkehrsmitteln wie Busse, Taxis und Autos, was eine dynamische Mobilität innerhalb der Stadt ermöglicht.

Im Gegensatz dazu bevorzugen lediglich 11,9% der Umfrageteilnehmenden ein Verkehrssystem, das dem Konzept von "The Line" ähnelt. Hierbei handelt es sich um eine innovative Idee, die ausschließlich auf Radwegen und Fußgängerzonen basiert, um eine nachhaltigere und fußgängerfreundlichere städtische Infrastruktur zu schaffen.

Die eindeutige Zustimmung zum traditionellen Verkehrssystem spiegelt sich in der überwältigenden Mehrheit der entsprechenden Antwortkategorie wider. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass die Mehrheit der Befragten das etablierte System präferiert, welches eine breite Palette von Mobilitätsoptionen bietet.

4. Welches Verkehrssystem halten Sie für umweltfreundlicher und nachhaltiger?

- a. Auf Radfahrer und Passanten zugeschnittenes Verkehrssystem (wie in The Line):
71 Stimmen
- b. Kann ich nicht beurteilen:
18 Stimmen
- c. Traditionelles Verkehrssystem (wie in Manhattan und anderen Großstädten):
12 Stimmen



Abbildung 28: Verteilung der Antworten zu Umwelt und Nachhaltigkeit; Eigene Darstellung

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass 71 von 101 Befragten glauben, dass ein Verkehrssystem für Radfahrer und Fußgänger umweltfreundlicher und nachhaltiger ist als beispielsweise das derzeitige Verkehrssystem in Manhattan. Diese Mehrheit von 70,3 % der Befragten deutet auf eine positive Wahrnehmung der Umweltauswirkungen und der Nachhaltigkeit eines alternativ orientierten Ansatzes hin.

Interessanterweise gaben 18 Befragte an, sie könnten nicht entscheiden, ob ein Verkehrssystem, das sich auf Radfahrer und Fußgänger konzentriert, umweltfreundlicher ist. Dies spiegelt eine gewisse Unsicherheit oder einen Mangel an Wissen bei einigen Befragten wider.

Im Gegensatz dazu bevorzugten 12 Befragte das traditionelle Verkehrssystem in Manhattan und hielten es für umweltfreundlicher als ein System, das sich auf Radfahrer und Fußgänger konzentriert, wie bei "The Line". Diese Minderheit von 11,9 % deutet auf eine differenzierte Sichtweise innerhalb der Befragtengruppe hinsichtlich der Umweltauswirkungen verschiedener Verkehrskonzepte hin.

5. Welches Verkehrssystem empfinden Sie als sicherer für Fußgänger und Radfahrer?

- a. Auf Radfahrer und Passanten zugeschnittenes Verkehrssystem:
62 Stimmen
- b. Beide gleich sicher:
27 Stimmen
- c. Traditionelles Verkehrssystem:
12 Stimmen



Abbildung 29: Verteilung des bevorzugten Verkehrssystems bezüglich Sicherheit für Radfahrer und Fußgänger; Eigene Darstellung

62 von 101 Befragten teilen die Ansicht, dass ein Verkehrssystem für Radfahrer und Fußgänger, wie "The Line", sicherer ist als ein herkömmliches Verkehrssystem in Metropolen wie Manhattan. Diese klare Mehrheit von 61,4 % der Befragten unterstreicht das Vertrauen in die Sicherheit eines Verkehrskonzepts, das auf alternative Verkehrsmittel setzt.

Interessanterweise gaben 27 Befragte an, dass sie beide Verkehrssysteme für gleich sicher halten. Dies spiegelt eine neutrale Haltung gegenüber den Sicherheitsaspekten beider Konzepte wider und deutet darauf hin, dass bei der Bewertung der Sicherheit für diese Gruppe andere Faktoren eine Rolle spielen könnten.

Andererseits bevorzugten 12 Befragte das bestehende konventionelle Verkehrssystem in Manhattan und hielten es für sicherer als ein auf Fahrräder und Fußgänger ausgerichtetes System. Diese Minderheit von 11,9 % spiegelt die Meinungsvielfalt der Befragten in Bezug auf die wahrgenommene Sicherheit der verschiedenen Verkehrskonzepte wider.

6. Welches Verkehrssystem fördert Ihrer Meinung nach eine bessere soziale Interaktion zwischen den Bewohnern?

- a. Auf Radfahrer und Passanten zugeschnittenes Verkehrssystem:
50 Stimmen
- b. Beide fördern ähnlich:
27 Stimmen
- c. Ein traditionelles Verkehrssystem:
24 Stimmen

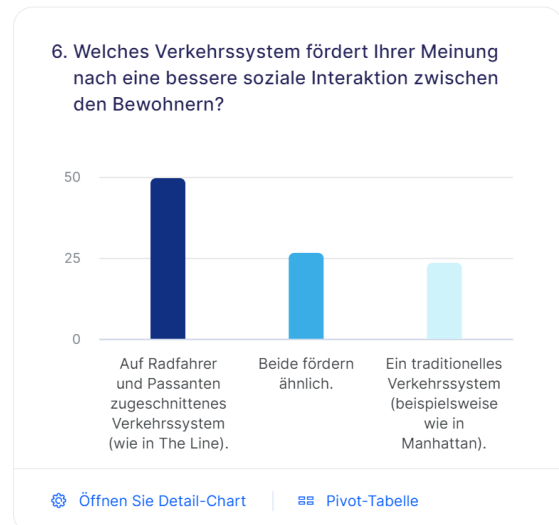


Abbildung 30: Verteilung der Antworten bezüglich der Förderung der sozialen Interaktion zwischen Bewohnern; Eigene Darstellung

Von den 101 Befragten sind 50, also die Hälfte, der Ansicht, dass ein Verkehrssystem für Radfahrer und Fußgänger, wie es in "The Line" entworfen wurde, der sozialen Interaktion zwischen den Stadtbewohnern eher förderlich ist als ein herkömmliches Verkehrssystem wie in Manhattan. Interessanterweise gibt es eine Gruppe von 27 Befragten, die der Meinung sind, dass beide Verkehrssysteme der sozialen Interaktion in ähnlicher Weise förderlich sind. Innerhalb dieser Gruppe gaben jedoch 24 Befragte an, dass das herkömmliche Verkehrssystem die soziale Interaktion eher fördert.

Diese Divergenz der Ansichten innerhalb der Gruppe der Befragten zeigt die Komplexität der Beurteilung, welche Verkehrskonzepte als förderlicher für die soziale Interaktion angesehen werden. Die Ergebnisse geben daher interessante Einblicke in die unterschiedlichen Präferenzen und Bewertungen der sozialen Aspekte der verschiedenen Verkehrssysteme durch die Befragten.

7. Welches Verkehrssystem könnte dazu beitragen, Verkehrsprobleme wie Staus und Luftverschmutzungen besser zu reduzieren?

- a. Ein auf Radfahrer und Passanten zugeschnittenes Verkehrssystem:
77 Stimmen
- b. Beide gleich effektiv:
13 Stimmen
- c. Ein traditionelles Verkehrssystem:
11 Stimmen

7. Welches Verkehrssystem könnte dazu beitragen, Verkehrsprobleme wie Staus und Luftverschmutzungen besser zu reduzieren?

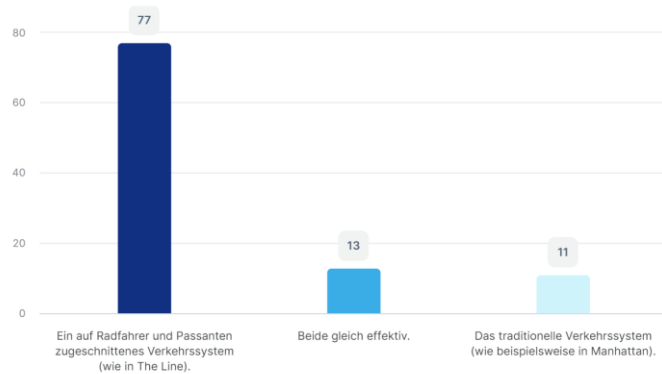


Abbildung 31: Verteilung bezüglich der Effektivität gegenüber Staus und Luftverschmutzung; Eigene Darstellung

Die Analyse der Umfrageergebnisse zeigt, dass 77 von 101 Befragten die Überzeugung teilen, dass ein Verkehrssystem für Radfahrer und Fußgänger, wie es in "The Line" vorgestellt wird, besser geeignet ist, Verkehrsstaus zu verringern und Luftverschmutzung zu verhindern. Diese überwältigende Mehrheit, 76,2 % der Befragten, zeigt, dass die Konzentration auf alternative Verkehrsträger als wirksame Strategie zur Bewältigung städtischer Verkehrsprobleme angesehen wird.

13 Befragte sind der Meinung, dass beide Verkehrssysteme gleichermaßen wirksam sind, um Verkehrsstaus und Luftverschmutzung zu verringern. Dies spiegelt eine neutrale Haltung gegenüber den beiden Konzepten wider und deutet darauf hin, dass für diese Gruppe andere Faktoren bei der Wirksamkeit von Verkehrssystemen eine Rolle spielen könnten.

Andererseits bevorzugen 11 Befragte das konventionelle Verkehrssystem wie in Manhattan und halten es für wirksamer bei der Reduzierung von Verkehrsstaus und der Vermeidung von Luftverschmutzung. Diese Minderheit von 10,9 % spiegelt eine abweichende Meinung innerhalb der Befragtengruppe über die Wirksamkeit verschiedener Verkehrskonzepte bei der Bewältigung von Verkehrsproblemen und Umweltauswirkungen wider.

8. Welche Verkehrsmittel verwenden Sie in Ihrer täglichen Routine?

- a. Das Auto:
73 Stimmen
- b. Das Fahrrad:
37 Stimmen
- c. Ich laufe am liebsten:
26 Stimmen
- d. Den öffentlichen Nahverkehr:
24 Stimmen
- e. Andere:
1 Stimme

8. Welche Verkehrsmittel verwenden Sie in Ihrer täglichen Routine?

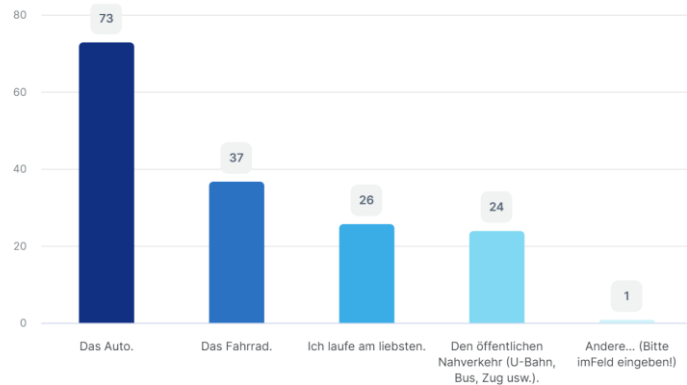


Abbildung 32: Verteilung der täglich genutzten Verkehrsmittel; Eigene Darstellung

Die Umfrageergebnisse geben Aufschluss über die verschiedenen Präferenzen der 101 Befragten hinsichtlich der Verkehrsmittel im Alltag. Bei dieser Frage konnte jeder Befragte mehr als eine Wahl treffen, so dass sich ein vielschichtiges Bild der individuellen Mobilitätsmuster ergab.

Immerhin 73 Befragte gaben an, dass sie im Alltag ein Auto benutzen, während 37 Personen das Fahrrad bevorzugten. Die Angabe von mehr als einer Option zeigt, dass viele Menschen je nach ihren Bedürfnissen und Situationen eine Kombination verschiedener Verkehrsmittel nutzen.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass 26 der Teilnehmer lieber zu Fuß gehen, während 24 Personen die öffentlichen Verkehrsmittel nutzen. Diese Ergebnisse zeigen, dass es innerhalb der Befragtengruppe unterschiedliche Präferenzen gibt.

Interessant ist jedoch auch, dass aufgrund der hohen Anzahl von Autofahrern in der Umfrage - 73 Personen - einige Personen vor der Idee einer autofreien Stadt für den Verkehr zurückschrecken könnten. Dies könnte darauf hindeuten, dass eine beträchtliche Anzahl von Menschen in ihren Mobilitätsgewohnheiten stark an das Auto gebunden ist und sich nur schwer vorstellen kann, auf dieses Verkehrsmittel zu verzichten. Dieses Ergebnis könnte bedeuten, dass der Übergang zu alternativen Verkehrskonzepten in einigen Bevölkerungsgruppen auf Widerstand stoßen könnte.

9. Wie oft nutzen Sie das/die von Ihnen ausgewählte(n) Verkehrsmittel für Ihre täglichen Aktivitäten?

- a. Täglich:
65 Stimmen
- b. Mehrmals pro Woche:
35 Stimmen
- c. Einmal pro Woche:
1 Stimme
- d. Nie:
0 Stimmen
- e. Selten:
0 Stimmen

9. Wie oft nutzen Sie das/die von Ihnen ausgewählte(n) Verkehrsmittel für Ihre täglichen Aktivitäten?

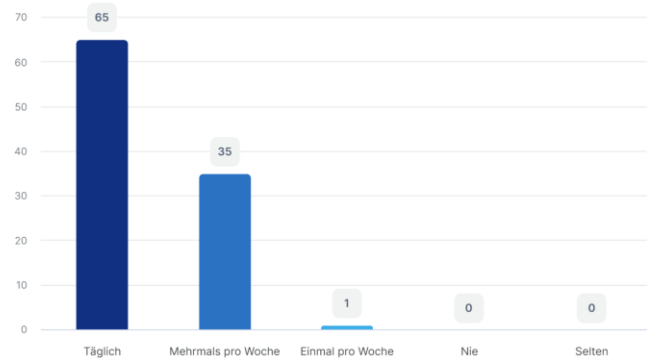


Abbildung 33: Verteilung der Anzahl an täglich genutzten Verkehrsmitteln; Eigene Darstellung

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass eine deutliche Mehrheit der Befragten regelmäßig das Verkehrsmittel nutzt, das sie im Voraus gewählt haben. 65 von 101 Befragten gaben an, dass sie ihr bevorzugtes Verkehrsmittel jeden Tag benutzen. Dies unterstreicht die Bedeutung und Bequemlichkeit des gewählten Verkehrsmittels für die Mehrheit der Befragten im Alltag. Darüber hinaus nutzen 35 Befragte ihr bevorzugtes Verkehrsmittel mehrmals pro Woche, was auf eine weitere Gruppe von Personen hinweist, die es regelmäßig, wenn auch nicht täglich, nutzen. Interessanterweise gab nur eine Person an, das von ihr gewählte Verkehrsmittel einmal pro Woche zu benutzen. Dies könnte auf individuelle Bedürfnisse oder besondere Umstände hinweisen, die eine weniger häufige Nutzung erfordern. Es ist bemerkenswert, dass kein einziger Befragter angab, sein bevorzugtes Verkehrsmittel "nie" oder "selten" zu benutzen. Dies deutet darauf hin, dass die überwiegende Mehrheit der Befragten ihr bevorzugtes Verkehrsmittel regelmäßig nutzt und eine seltene oder gar keine Nutzung die Ausnahme ist. Diese Aussage unterstreicht die Eignung und kontinuierliche Integration des gewählten Verkehrsmittels in den Tagesablauf der Teilnehmer.

10. Welche Vorteile sehen Sie in einem Verkehrssystem, das hauptsächlich auf Fahrrädern basiert?

- a. Weniger Luftverschmutzung: **84 Stimmen**
- b. Weniger Staus: **81 Stimmen**
- c. Gesundheitsfördernder Lebensstil: **63 Stimmen**
- d. Stärkere Gemeinschaftsinteraktionen: **28 Stimmen**
- e. Andere: **3 Stimmen**

10. Welche Vorteile sehen Sie in einem Verkehrssystem, das hauptsächlich auf Fahrrädern basiert?

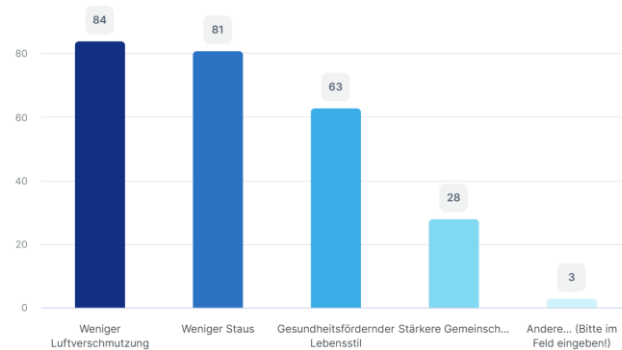


Abbildung 34: Verteilung der Vorteile durch ein Verkehrssystem, das hauptsächlich auf Fahrrädern basiert; Eigene Darstellung

Die Auswertung von Frage 10, die sich hauptsächlich mit den Vorteilen eines fahrradbasierten Verkehrssystems befasst, gibt interessante Einblicke in die Wahrnehmung der Befragten bezüglich dieser nachhaltigen Verkehrsoption.

Die überwältigende Mehrheit der 84 abgegebenen Stimmen betonte die Verringerung der Luftverschmutzung als Hauptvorteil eines radbasierten Verkehrssystems. Diese eindeutige Zustimmung (83,2 %) spiegelt die Wertschätzung umweltfreundlicher Verkehrsoptionen wider, die einen positiven Beitrag zur Luftqualität leisten.

In ähnlicher Weise erkannten 81 Befragte den Vorteil einer geringeren Verkehrsüberlastung in einem fahrradzentrierten Verkehrssystem an. Dies zeigt, dass viele Befragte die Rolle des Fahrrads bei der Verringerung von Staus und der Gewährleistung eines reibungsloseren Verkehrsflusses für wichtig halten.

Die Förderung einer gesunden Lebensweise wurde von 63 Befragten als wichtiger Vorteil genannt. Dies unterstreicht die Anerkennung der gesundheitlichen Vorteile des regelmäßigen Radfahrens.

Was die sozialen Interaktionen in einem fahrradzentrierten Verkehrssystem angeht, so sehen 28 Befragte einen Vorteil in der Stärkung des Gemeinschaftsgefühls. Dies unterstreicht die soziale Dimension und die mögliche Förderung nachbarschaftlicher Beziehungen durch fahrradgestützte Mobilität.

Schließlich erwähnen drei Befragte individuelle, nicht näher spezifizierte Vorteile, die nicht in die vordefinierten Kategorien fallen.

Zusammenfassend zeigt diese Bewertung eine multifaktorielle Wahrnehmung der Vorteile eines fahrradzentrierten Verkehrssystems, wobei Umweltaspekte, Verkehrsfluss, Gesundheitsförderung und soziale Interaktionen besonders wichtig sind.

11. Welche Herausforderungen könnten mit einem Verkehrssystem mit Fahrrädern verbunden sein?

- a. Wetterabhängig:
77 Stimmen
- b. Begrenzte Transportkapazität:
56 Stimmen
- c. Sicherheitsbedenken:
44 Stimmen
- d. Andere:
4 Stimmen

11. Welche Herausforderungen könnten mit einem Verkehrssystem mit Fahrrädern verbunden sein?

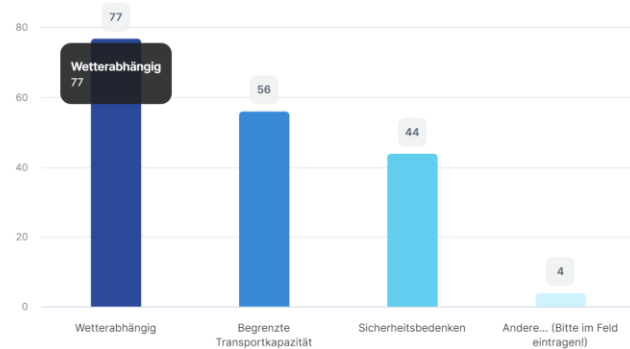


Abbildung 35: Verteilung der Herausforderungen in einem auf Radfahrer abgeschnittenen Verkehrssystem; Eigene Darstellung

Die Auswertung der Frage 11, die sich in erster Linie mit den potenziellen Herausforderungen eines fahrradbasierten Verkehrssystems befasst, zeigt, dass die Befragten eine differenzierte Sicht auf die potenziellen Herausforderungen im Zusammenhang mit dieser nachhaltigen Mobilitätsoption haben.

Die Wetterabhängigkeit wurde mit 77 Stimmen als die größte Herausforderung genannt. Dieses Ergebnis unterstreicht, dass weithin anerkannt wird, dass die Wetterbedingungen einen erheblichen Einfluss auf die Attraktivität und Praktikabilität des Radfahrens im Alltag haben können.

Begrenzte Transportkapazitäten wurden von 56 Befragten als Herausforderung genannt, was darauf hindeutet, dass trotz der zahlreichen Vorteile des Radfahrens die Einschränkungen beim Transport größerer Lasten oder Personen als relevanter Faktor anerkannt werden.

Sicherheitsbedenken wurden von 44 Befragten als Problem genannt. Dies unterstreicht die Bedeutung der Sicherheit im Verkehr, insbesondere im Zusammenhang mit dem Radfahren, und deutet darauf hin, dass einige Befragte mögliche Sicherheitsrisiken als potenzielles Hindernis sehen.

Vier Befragte nannten einzelne Herausforderungen, die sich nicht in vordefinierte Kategorien einordnen ließen. Dies unterstreicht die Komplexität der wahrgenommenen Herausforderungen und deutet darauf hin, dass es eine Reihe von individuellen Bedenken im Zusammenhang mit einem radbasierten Verkehrssystem gibt.

12. Glauben Sie, dass ein Verkehrssystem mit Fahrrädern wie in The Line, also in einer linearen Stadt, besser funktionieren könnte als in einer etablierten Stadt wie Manhattan?

- a. Ja:
49 Stimmen
- b. Ich bin mir nicht sicher:
36 Stimmen
- c. Nein:
16 Stimmen

12. Glauben Sie, dass ein Verkehrssystem mit Fahrrädern wie in The Line, also in einer linearen Stadt, besser funktionieren könnte als in einer etablierten Stadt wie Manhattan?

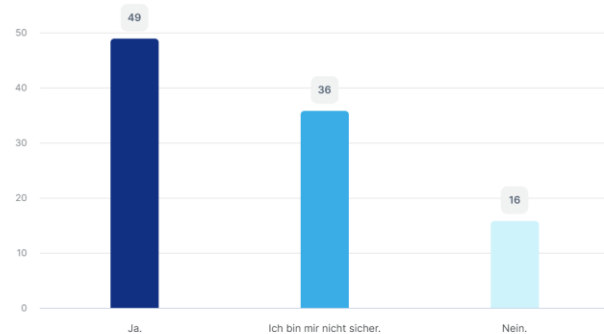


Abbildung 36: Darstellung der Antworten bezüglich eines besser funktionierenden Verkehrssystems

Die Auswertung der Frage nach dem Vergleich eines fahrradzentrierten Verkehrssystems, wie es in "The Line" entworfen wurde, mit einer bebauten Stadt wie Manhattan zeigt, dass die Meinungen der 101 Befragten auseinandergehen.

49 % der Stimmen sprachen sich für ein fahrradzentriertes Verkehrssystem aus, das in einer linearen Stadt wie "The Line" besser funktionieren würde als in einer bebauten Stadt wie Manhattan. Dieses Ergebnis, das 48,5 % der Befragten entspricht, zeigt, dass viele Befragte ein positives Potenzial in einem innovativen Verkehrskonzept sehen.

Allerdings gibt es auch eine beträchtliche Anzahl von 36 Befragten, die sich nicht sicher sind. Diese Unentschlossenheit von 35,6 % der Befragten deutet darauf hin, dass die Frage nach der Übertragbarkeit eines solchen Verkehrssystems auf andere städtische Kontexte und Bedingungen nicht mit Sicherheit beantwortet werden kann.

Dagegen verneinten 16 Befragte die Annahme, dass ein fahrradzentriertes Verkehrssystem in einer linearen Stadt besser funktionieren würde. Dies entspricht 15,8 % der Befragten und zeigt, dass es Bedenken oder Skepsis hinsichtlich der Anwendbarkeit dieses Konzepts in einem etablierten städtischen Umfeld gibt.

Insgesamt zeigt diese Analyse, dass die Ansichten über die Durchführbarkeit eines fahrradzentrierten Verkehrssystems sehr unterschiedlich sind und die Vielfalt der Perspektiven innerhalb der Gruppe der Befragten verdeutlichen.

6.2.3 Validierung der Daten aus Simulation und Umfrage

Die Datenvalidierung erfolgt anhand der Parameter aus der Simulation Manhattans und der Community von The Line (Abbildung 24, Tabelle 2 und Tabelle 1) sowie mit den Antworten der Umfrage, welche von Bekannten und Freunden beantwortet wurde.

Aus den Antworten der Umfrage geht hervor, dass 37,8 Prozent der Befragten zwischen 17 und 26 Jahren sind. Somit ist etwas mehr als ein Drittel im Alter zwischen 17 und 26 Jahren. 26,9 Prozent der Befragten sind zwischen 27 und 35 Jahren alt. In Summe ergibt sich aus diesen relativen Zahlen ein Satz in Höhe von 64,7 Prozent und entspricht somit fast zwei Dritteln aller Befragten.

Wie hervorsehbar, ist mit 89 zu 12 Stimmen der traditionelle Verkehr den Befragten näher als der Verkehr einer linearen Stadt (am Beispiel The Line). Dies führt darauf zurück, dass lineare Städte, wie es bei The Line der Fall ist, selten und bisher weniger strukturiert sind als bisher etablierte Städte (wie beispielsweise Manhattan, Berlin oder München, etc.).

Doch ausgehend von den Antworten bezüglich der Nachhaltig- und Umweltfreundlichkeit der jeweiligen Verkehrssysteme, ist sich die Mehrheit mit 71 Stimmen zu 12 Stimmen bzw. 18 Stimmen („kann ich nicht beurteilen“) – siehe Antworten zu Frage 4 – sicher, dass ein Verkehrssystem wie es in The Line vorgestellt wurde, besser punktet als das System einer etablierten Stadt.

Ebenfalls können die hervorgehobenen Werte aus Tabelle 2 betrachtet werden, welche zeigen, dass beispielsweise Busse in der Simulation des Verkehrs in Manhattan mit Kohlendioxid (CO₂), Kohlenstoffmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickstoffoxide (Nox) mit Abstand die höchsten Werte für die Belastung der Umwelt erzeugen. Die Umfrage-Teilnehmer sind sich also bewusst, dass in einer Stadt, in der ein komplett neues Verkehrssystem, welches auf Radfahrer und Passanten abgeschnitten ist, ein gesünderes Leben im Alltag möglich ist.

7 Diskussion

In dieser Bachelorarbeit wird das Thema der linearen Stadt umfassend analysiert, insbesondere im Kontext des Verkehrssystems und unter Berücksichtigung neuer urbaner Konzepte wie "The Line". Die Diskussion konzentriert sich auf die gewonnenen Ergebnisse, deren Interpretation und mögliche Implikationen für die Planung und Entwicklung zukünftiger Städte.

Die Umfrageergebnisse zeigen, dass die Bevölkerung ein breites Spektrum an Meinungen und Präferenzen bezüglich eines fahrradzentrierten Verkehrssystems in einer linearen Stadt hat. Fast die Hälfte der Befragten ist optimistisch, was die Wirksamkeit dieses Konzepts angeht, was auf ein erkennbares Interesse und Potenzial hindeutet. Es ist jedoch ebenso wichtig festzustellen, dass ein beträchtlicher Anteil (35,6 %) unsicher ist und eine kleinere Gruppe (15,8 %) skeptisch gegenüber der Machbarkeit ist.

Die Kombination dieser Umfrageergebnisse mit den Verkehrssimulationen von SUMO ermöglicht eine umfassende Analyse. SUMO liefert quantitative Daten, die die Machbarkeit eines fahrradzentrierten Verkehrssystems unter realen Bedingungen belegen. Die Manhattan-Simulationen liefern wichtige Informationen über Verkehrsfluss, Kapazität und Umweltauswirkungen.

Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass Simulationen, so robust sie auch sein mögen, mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind. Die Komplexität des menschlichen Verhaltens und die Einzigartigkeit einer jeden Stadt erfordern eine sorgfältige Interpretation der SUMO-Daten. Menschen können sich anpassen und Gewohnheiten entwickeln, und die Simulation kann nicht alle Aspekte des menschlichen Verhaltens vollständig erfassen.

Ein wichtiger Punkt ist die Bedeutung eines ganzheitlichen Ansatzes bei der Planung neuer Städte. Quantitative Daten aus Verkehrssimulationen müssen mit qualitativen Meinungen und Präferenzen der Bürger kombiniert werden. Ein harmonisches Gleichgewicht zwischen technischen Innovationen und menschlichen Bedürfnissen ist entscheidend für den Erfolg von Stadtentwicklungsprojekten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Annahme und Integration eines fahrradzentrierten Verkehrssystems in einer linearen Stadt von einer umfassenden Berücksichtigung der Meinungen der Bürger, der Anpassungsfähigkeit der Bevölkerung und einer realistischen Modellierung durch Verkehrssimulationen abhängt. Ein partizipativer Ansatz, der sowohl technische als auch soziale Aspekte gleichermaßen berücksichtigt, kann eine Grundlage für zukünftige Entwicklungen bieten. Die Ergebnisse bieten daher einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Stadtplanungsstrategien im Zeitalter innovativer Konzepte wie "The Line".

8 Fazit

Das abschließende Kapitel dieser Bachelorarbeit zieht eine ganzheitliche Schlussfolgerung aus der kombinierten Analyse von Umfrageergebnissen und Verkehrssimulationen im Zusammenhang mit neuen städtischen Konzepten wie "The Line". Während die Umfrageergebnisse wertvolle Informationen über die aktuellen Präferenzen und Meinungen der Befragten liefern, liefern die Verkehrssimulationen von SUMO quantitative Daten, die die Funktionalität eines fahrradzentrierten Verkehrssystems unterstreichen.

In diesem Beitrag wird besonders hervorgehoben, dass SUMO (Simulation of Urban Mobility) ein leistungsfähiges Verkehrssimulationswerkzeug ist, das einen wichtigen Beitrag zur Bewertung und Gestaltung von städtischen Verkehrssystemen leistet. Die Simulationen von Manhattan liefern wichtige Informationen über den Verkehrsfluss, die Kapazität und die Umweltauswirkungen und geben einen realistischen Einblick in die Herausforderungen und Potenziale der städtischen Mobilität.

Trotz der außergewöhnlichen Fähigkeiten von SUMO wird in der Schlussfolgerung auch auf die Notwendigkeit einer ausgewogenen Interpretation der Simulationsdaten hingewiesen. Der Mensch als anpassungsbedürftiges Lebewesen und die einzigartige Anpassungsdynamik neuer urbaner Konzepte wie "The Line" werden von Simulationen nicht immer vollständig erfasst.

Es ist klar, dass die Kombination von Umfrageergebnissen und Simulationsdaten einen wertvollen ganzheitlichen Ansatz für die Bewertung neuer Stadtvisionen bietet. SUMO als Verkehrssimulationswerkzeug hilft dabei, die Funktionalität und die Auswirkungen von Verkehrssystemen genau zu modellieren, was eine Grundlage für zukünftige Stadtplanung und Innovation darstellen kann.

Literaturverzeichnis

- Amon, A. 2023. "Utopia Aus Sand; Prestigeprojekt "the Line": "Die Struktur Einer Linearen Stadt Ist Ein Gedankenfehler"," in: *DerStandard*. DerStandard.
- Asimov, P. 2023. "The Line (Saudi-Arabien)." Retrieved 27.07.2023, 2023, from [https://de.wikipedia.org/wiki/The_Line_\(Saudi-Arabien\)](https://de.wikipedia.org/wiki/The_Line_(Saudi-Arabien))
- HyperloopHype. 2022. "How the Line and Hyperloop Could Go Hand in Hand." 2023, from <https://hyperloophype.com/how-the-line-and-hyperloop-could-go-hand-in-hand/>
- Mamajewa, O. 2021. "Wolgograd - Wie Die Einzige Lineare Stadt Der Welt Entstanden Ist," in: *Russia Beyond*. Russia Beyond, p. 1.
- Massenger. 2021. "Wie Viele Fahrräder Gibt Es In Deutschland? Aktuelle Fahrradfragen." 2023, from <https://fahrradpass.info/wie-viele-fahrraeder-gibt-es-in-deutschland#:~:text=Fahrradfahren%20in%20Berlin-,Wie%20viele%20Deutsche%20fahren%20t%C3%A4glich%20Rad%3F,das%20Fahrrad%20k%C3%BCnftig%20h%C3%A4ufiger%20nutzen.>
- NEOM. 2023. "Die Zukunft Des Urbanen Lebens." Retrieved 24.07.2023, 2023, from <https://www.neom.com/de-de/regions/theline>
- PTV-Group. 2022. "Warum Sollten Sie Verkehrssimulation Verwenden?", 2023, from <https://www.mypTV.com/de/anwendungsfaelle/verkehrssimulation#:~:text=Mikroskopische%20Simulation%3A%20Auf%20dieser%20Ebene,kontinuierlich%20r%C3%A4umlich%20und%20zeitlich%20abgebildet.>
- Stokman, A. D., W; Gertz, C; Knieling, J; . 2022. "Lineare Infrastrukturlandschaften Im Wandel." HafenCity Universität: HafenCity Universität; Technische Universität Hamburg.
- Udelv. 2021. "Autonomous Delivery Vehicle Company Udelv Secures United States Air Force Small Business Innovation Award." 2023, from <https://udelv.com/autonomous-delivery-vehicle-company-udelv-secures-united-states-air-force-small-business-innovation-award/>
- Umweltbundesamt. 2022. "Straßenverkehrslärm." from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/laerm/verkehrslaerm/strassenverkehrslaerm#ge-rauschbelastung-im-strassenverkehr>

Wagner, J. 2021. "Mit Dem Flugtaxi in Die Zukunft." 2023, from
<https://www.deutschland.de/de/topic/leben/neom-the-line-flugtaxis-fuer-saudi-arabien>

WELT. 2014. "Der Broadway Ist New Yorks Berühmteste Straße." Retrieved 28.07.2023, 2023, from
<https://www.welt.de/reise/staedtereisen/gallery111804326/Der-Broadway-ist-New-Yorks-beruehmteste-Strasse.html>

Wikipedia. 2022. "Arturo Soria Y Mata." 2023, from
https://de.wikipedia.org/wiki/Arturo_Soria_y_Mata

Wikipedia. 2023a. "Agentenbasierte Modellierung." 2023, from
https://de.wikipedia.org/wiki/Agentenbasierte_Modellierung

Wikipedia. 2023b. "Bandstadt." 2023, from
<https://de.wikipedia.org/wiki/Bandstadt#:~:text=Die%20erste%20lineare%20Stadt%20von,Ciudad%20Lineal%20im%20Osten%20Madrids.>

Wikipedia. 2023c. "The Line (Saudi-Arabien)." 2023, from
[https://de.wikipedia.org/wiki/The_Line_\(Saudi-Arabien\)](https://de.wikipedia.org/wiki/The_Line_(Saudi-Arabien))

WikipediaEN. 2023. "The Line, Saudi Arabia." from
https://en.wikipedia.org/wiki/The_Line,_Saudi_Arabia

Abbildungsquellen

Abbildung 1: Wikipedia | Bandstadt

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bandstadt>

Abbildung 2: Screenshot | Wikipedia | Ciudad Lineal

https://en.wikipedia.org/wiki/Ciudad_Lineal

Abbildung 3: Wikipedia | La Ciudad Lineal

https://en.wikipedia.org/wiki/Ciudad_Lineal

Abbildung 4: Screenshot | Google Maps | Manhattan

Koordinaten: 40.76986021232752, -73.968113350792

Abbildung 5: Wikipedia | The Line (Saudi-Arabien)

[https://de.wikipedia.org/wiki/The_Line_\(Saudi-Arabien\)](https://de.wikipedia.org/wiki/The_Line_(Saudi-Arabien))

Abbildung 6: NEOM | THE LINE

<https://www.neom.com/de-de/regions/theline>

Abbildung 7: Screenshot | NEOM | A CITY WHERE EVERYTHING IS A FIVE MINUTE WALK

https://twitter.com/NEOM?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwterm%5E1348336303306375180%7Ctwgr%5E080c527062e6c03bab9158753e45b6b7091e2b8e%7Ctwcon%5Es1_%26ref_url=https%3A%2F%2Fwww.freepressjournal.in%2Fworld%2Fwhat-is-the-line-all-you-need-to-know-about-saudi-arabias-plan-for-a-futuristic-zero-carbon-city

Abbildung 8: Mobileye | udelv | The uPod

<https://udelv.com/transporter/>

Abbildung 9: Volocopter | VOLOcity

<https://www.diehl.com/aviation/de/presse-und-medien/presse/diehl-aviation-baut-zusammenarbeit-mit-volocopter-fuer-das-vollelektrische-flugtaxi-volocity-weiter-aus/>

Abbildung 10: Screenshot | Logo Netedit | Sumo

SUMO

Abbildung 11: Screenshot | Logo SUMO OSM Web Wizard | Sumo

SUMO

Abbildung 12: Screenshot | Abbildung HNU-Gelände in SUMO OSM Web Wizard | Sumo

SUMO

Abbildung 13: Screenshot | Logo SUMO-GUI | Sumo

SUMO

Abbildung 14: Screenshot | HNU-Gelände in SUMO-GUI | Sumo

SUMO

Abbildung 15: Screenshot | Parameter aus Simulation in SUMO-GUI | Sumo

SUMO

Abbildung 16: Community | Bearbeiteter Screenshot aus Konzeptvideo NEOMs | NEOM

NEOM

Abbildung 17: Community | Erstelltes Verkehrsnetz in Netedit | SUMO

Eigene Darstellung

SUMO 18: Community | Erstelltes Verkehrsnetz in Netedit | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 19: Community | Erstelltes Verkehrsnetz in SUMO-GUI | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 20: Community | Erstelltes Verkehrsnetz in SUMO-GUI | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 21: Community | Erstelltes Verkehrsnetz in SUMO-GUI | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 22: Simulationszone Manhattan | Erstelltes Zone in SUMO OSM Web Wizard | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 23: Simulationszone Manhattan | Erstelltes Zone in SUMO-GUI | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 24: Screenshot | Community Simulationsparameter in SUMO-GUI | SUMO

Eigene Darstellung

Abbildung 25: Screenshot | Geschlechterverteilung der Umfrageteilnehmer | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 26: Screenshot | Altersverteilung der Umfrageteilnehmer | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 27: Screenshot | Verteilung des bevorzugten Verkehrssystems | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 28: Screenshot | Verteilung der Antworten zu Umwelt und Nachhaltigkeit | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 29: Screenshot | Verteilung des bevorzugten Verkehrssystems bezüglich Sicherheit für Radfahrer und Fußgänger | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 30: Screenshot | Verteilung der Antworten bezüglich der Förderung der sozialen Interaktion zwischen Bewohnern | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 31: Screenshot | Verteilung der Effektivität gegenüber Staus und Luftverschmutzung | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 32: Screenshot | Verteilung der täglich genutzten Verkehrsmittel | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 33: Screenshot | Verteilung der Anzahl an täglich genutzten Verkehrsmitteln | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 34: Screenshot | Verteilung der Vorteile durch ein Verkehrssystem, das hauptsächlich auf Fahrrädern basiert | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 35: Screenshot | Verteilung der Herausforderungen in einem auf Radfahrer abgeschnittenen Verkehrssystem | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 36: Screenshot | Darstellung der Antworten bezüglich eines besser funktionierenden Verkehrssystems | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 25: Screenshot | Altersverteilung der Umfrageteilnehmer | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 25: Screenshot | Altersverteilung der Umfrageteilnehmer | MySurvio

Eigene Darstellung

Abbildung 25: Screenshot | Altersverteilung der Umfrageteilnehmer | MySurvio

Eigene Darstellung

Eidesstaatliche Erklärung

Ich, Ahmet Sentürk, versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel "Verkehrssimulation einer linearen Stadt" selbstständig und ohne unzulässige Hilfe verfasst habe. Alle Quellen und Hilfsmittel, die ich zur Erstellung dieser Arbeit herangezogen habe, sind vollständig und korrekt zitiert und in den Quellenangaben aufgeführt.

Ich versichere, dass diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht wurde. Die eingereichte schriftliche Fassung entspricht der auf dem eingereichten elektronischen Exemplar.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Versicherung rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen kann und erkläre mich einverstanden, auf Anforderung der Prüfungsbehörde die genutzten Quellen und Hilfsmittel offenzulegen.

Sonthofen, 14.12.2023