



Whitepaper

KI4LSA Künstliche Intelligenz für Lichtsignalanlagen

Transferfähigkeit

1. Vorwort und Synthese

Im Zeitraum von Anfang 2020 bis August 2022 wurde in dem Forschungsprojekt KI4 LSA – Künstliche Intelligenz für Lichtsignalanlagen – die These geprüft, ob ein KI-Agent, der mit der Methode des Reinforcement Learning trainiert wurde, eine Lichtsignalanlage, umgangssprachlich Ampel, sinnvoll gesteuert werden kann.

Details zur Vorgehensweise und den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes können dem Abschlussbericht entnommen werden. Den Link finden Sie am Ende dieses Dokuments.

In diesem Whitepaper werden die Ergebnisse der Transferprüfung, auf Basis der Arbeit mit 5 weiteren, in diesem Projekt beteiligten Kommunen, zusammengefasst.

In dem Forschungsprojekt konnte die Wirksamkeit eines per Reinforcement Learning trainierten KI-Agenten nachgewiesen werden.

Mit der Umsetzung des Projektes in einem Reallabor mit einer realen Ampelanlage im laufenden Verkehr wurden verschiedene Aspekte in Bezug auf Transfer betrachtet:

- Genehmigungsprozesse
- Umsetzung, bauliche Maßnahmen an der LSA
- Komplexität und Umsetzung des Trainings der KI
- Vorhandene und benötigte Kompetenzen

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass kommunale Verwaltungen, aber in großen Teilen auch die Genehmigungsbehörden noch nicht ausreichend auf die Umsetzung und die Beurteilung des Einsatzes von KI-gestützten LSA vorbereitet sind.

Für einen breiten Einsatz KI-gesteuerter Lichtsignalanlagen muss die Technologie in weiteren, umfangreicheren und komplexeren Situationen erprobt werden, um sie universeller einsetzbar zu machen. Darüber hinaus benötigen die kommunalen Stakeholder, sowie die Genehmigungsbehörden Unterstützung in der Umsetzung derartiger Projekte, verbunden mit Kompetenzaufbau und gezieltem Transfer von Knowhow in diesem Zusammenhang.

2. Anlass und Zielsetzung

Der zunehmende innerstädtische Verkehr führt zu Umweltbelastungen (Lärm, Abgase), hohen Reisezeiten und erhöhtem Treibstoffverbrauch für die Verkehrsteilnehmenden. Eine stärkere Nutzung des ÖPNV ist zwar sehr sinnvoll, vielerorts aber durch das eingeschränkte Angebot keine Alternative zum motorisierten Individualverkehr (MIV). Das gilt insbesondere für Pendlerverkehre in Stadt-/Land-Raumbeziehungen.

Eine andere Möglichkeit dieser Situation zu begegnen, stellt die effizientere Nutzung der Straßen durch eine bessere Koordination des Verkehrs dar: Durch Erfassung der aktuellen Verkehrssituation und eine übergreifende Optimierung von Schaltzeiten von Lichtsignalanlagen (LSA) können je nach individueller Situation Effizienzgewinne erzielt werden, die sich auch in Emissionsreduktionen ausdrücken. Bisher werden LSA überwiegend mit Festzeitsteuerung in Kombination mit Bedarfsanforderungen geschaltet. Viele LSA haben auch bereits Sensorik integriert, die eine Anwesenheit von Fahrzeugen detektieren und dadurch eine Verlängerung der Schaltphase oder einen Signalwechsel ermöglichen. Eine hochgenaue und spurgetreue Erfassung von Verkehrsflüssen und ein durch selbständiges Lernen gesteuertes Ampelsystem sind allerdings bisher aus unterschiedlichen Gründen nicht etabliert.

Im Rahmen der vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr geförderten Innovationsinitiative mFUND wurde mit diesem Anlass 2020 das Projekt „Künstliche Intelligenz von Lichtsignalanlagen (KI4LSA)“ gestartet, um eine Lösung zu entwickeln, die basierend auf künstlicher Intelligenz (KI) und DSGVO-konform zur Verkehrsflussoptimierung beiträgt.

Mithilfe eines Prototyps wurde ein erreichbares Potential von KI für die Verkehrsflussoptimierung und Emissionsreduktion an einem Verkehrsbereich in der Hansestadt Lemgo als Reallabor beispielhaft getestet und eine Verbesserung des Verkehrsflusses nachweislich erzielt. Das Vorhaben wurde von den Unternehmen Stührenberg und Cichon Automatisierungstechnik (CAT-Traffic) sowie dem Fraunhofer IOSB-INA bearbeitet und durch Straßen.NRW, Stadt Lemgo und Stadtwerke Lemgo unterstützt.

Um den entwickelten Prototyp auch in anderen Kommunen zur Verkehrsflussoptimierung einsetzen zu können, wurden Anforderungen an den Transfer erarbeitet und gemeinsam mit assoziierten Kommunen im Rahmen von Workshops diskutiert. Das vorliegende White Paper beschreibt das Vorgehen und die erzielten Ergebnisse und Erkenntnisse zur möglichen Übertragbarkeit des entwickelten Prototyps im Rahmen des Projektes KI4LSA.

Dieses White Paper richtet sich an Kommunen, kommunale IT-Dienstleister und Betriebe, sowie Wirtschaftsunternehmen, die im Bereich der Verkehrssteuerung aktiv sind.

Es werden die grundlegenden, für den Transfer der Lösung relevanten Ergebnisse des Projektes beschrieben, das Vorgehen in Bezug auf Prüfung der Transferfähigkeit und geben konkrete Handlungsempfehlung an einem Transfer Interessierte.

3. Potentiale und Grenzen der KI4LSA Lösung bei einem Transfer

Eingangsvoraussetzungen

Steuerprogramme für Lichtsignalanlagen werden heute meist adaptiv definiert, d.h. nach bestem Wissen der Verkehrsplaner und unter Nutzung bestehender Sensorik, wie Induktionsschleifen. Dabei werden die aktuell bekannte Verkehrssituation, die Topologie und die Besonderheiten der Ampelanlage bestmöglich beachtet. Oft decken dann mehrere Ampel-Schaltschemata verschiedene Situationen individuell ab, z.B. "grüne Welle" in die eine Richtung morgens und in die andere Richtung abends an Werktagen, oder "alles Rot" in der Nacht. Induktionsschleifen können dabei nur ein sehr eingeschränktes Bild der Verkehrssituation vermitteln, da sie wenige Parameter an nur einer, manchmal auch mehr dedizierten Positionen messen.

Derart optimierte, klassische Schaltschemata können zunächst einen sehr hohen Optimierungsgrad aufweisen. Allerdings nimmt der Grad der Passgenauigkeit für die sich entwickelnde Verkehrssituation an dieser Ampel über die Zeit ab. Es wäre notwendig die aufwändigen, "manuellen" Untersuchungen und Optimierung zyklisch zu wiederholen, insbesondere, wenn besondere, auch temporäre Ereignisse vorliegen, wie Baustellen, Sperrungen, bauliche Maßnahmen (z.B. Eröffnung einer Schule im Einflussbereich der Ampel). Diese temporär oder langfristig wirkenden Veränderungen sind von den adaptiven Schaltschemata nicht berücksichtigt und führen so nach und nach zu immer weniger optimalen Steuerung der Ampel.

Diese Aussage wurde in den Transfergesprächen von allen Städten bestätigt. Hinzu kommt, dass nach aktuellem Vorgehen in der Regel die Steuerrechner von Ampelanlagen nicht automatisch immer auf dem neuesten Stand gehalten werden. Nur bei Änderungen der Ampelanlage/n, weiteren Steuerimpulsen, die zu verarbeiten sind, oder Änderungen im Verkehrsverlauf, findet auch ein Update des Steuerrechners der Ampel statt.

Aus der Auflistung der Ampelanlagen der betrachteten Kommunen wurden Anlagen mit Betriebszeiten zwischen unter 10 und bis zu 29 Jahren genannt.

Zwei weitere, große Nachteile adaptiver Ampelschemata liegen in den wenigen Daten, die der Ampelsteuerung zur Entscheidungsfindung vorliegen, sowie in vorgegebenen Phasenzeiten für die verschiedenen Schaltphasen.

Oft werden Induktionsschleifen zur Erkennung der Verkehrssituation eingesetzt, die nur den Raum direkt vor der Ampel oder an einer Stelle weiter entfernt bestimmen können. Dieses führt dann oft zu längeren Phasenzeiten, als eigentlich notwendig wären, oder zu einer zu späten Umschaltung in eine andere Phase, als es die Verkehrssituation eigentlich erlauben würde.

Der Vorteil der KI liegt hier darin, dass Sensorik leicht integriert werden kann, mit der mehr Informationen als bei klassischen Ampelsteuerungen bereitstehen, wohingegen mehr Informationen bei manuell erstellten Programmen Aufwand und Fehleranfälligkeit bedeuten. Dieser Vorteil der KI zahlt sich insbesondere vor dem Hintergrund der weiterwachsenden Zahl an Fahrzeugen mit V2X-Technologie aus, die viel mehr Informationen zur Verfügung stellen, als es klassisch entwickelte LSA-Steuerungen sinnvoll verwerten könnten.

Potentiale einer KI-gesteuerten Ampelanlage

Im Projekt KI4LSA wurde nachgewiesen, dass eine KI-basierte Ampelsteuerung einen positiven Einfluss auf den Verkehrsfluss und dadurch auch auf die Emissionswerte darstellt. Konkret können folgende Potentiale aus der Prüfung des Prototypens in Lemgo und aus den Transfergesprächen abgeleitet werden.

- Verbesserung verschiedener, für den Verkehr relevante Parameter, wie durchschnittliche Anzahl Stopps und durchschnittliche Fahrtzeit durch den betrachteten Streckenabschnitt vor der Ampelanlage.
Die Optimierung dieser Parameter zahlt direkt auf die von den Transferkommunen genannten Verkehrsziele und Nachhaltigkeitsziele ein.
- Bei der Beobachtung der Ampelanlage in den Realtests wurde eine geringere Phasenlänge bei geringer Verkehrsbelastung festgestellt. Subjektiv wird dieses von den testenden Projektmitgliedern als angenehmere Ampelschaltung wahrgenommen, weil als unnötig lang empfundene Wartezeiten verringert werden.
Die Transferkommunen bewerten diesen Mehrwert als Steigerung des Gemeinwohls.
- In den Transfergesprächen sind durch die Kommunen weitere Potentiale für Optimierungen identifiziert worden, die technisch realistisch erscheinen, aber an der Ampelanlage in Lemgo nicht getestet werden konnten:
 - Ampelanlagen, die als Umgehungsstrecken genutzt werden. Hier ergibt sich insbesondere in einer oder zwei Fahrrichtungen, eine massive Belastung der Strecke. Die KI-basierte Steuerung wird in solchen Situationen die belasteten Strecken deutlich bevorzugen und die Schaltzeiten entsprechend zu Gunsten dieser Strecken verschieben.
 - Wechselnde Verkehrssituationen, wie Schulanfang, Stadtfeste oder Baustellen werden ebenfalls von der KI-gesteuerten Ampel potentiell besser gesteuert. Diese Ereignisse lagen bei den Tests zum Teil vor, sodass von einem positiven Einfluss der KI-Steuerung ausgegangen werden kann, ohne dass hier konkrete Werte für diese Verkehrssituationen genannt werden können.
- Reduktion des Entwicklungsaufwands: Manuelle Programmierungen sind insbesondere bei komplexen Kreuzungen aufwändiger als die Modellerstellung einer Simulations plus KI-Training

Grenzen einer KI-gesteuerten Ampelanlage

In den Transfergesprächen wurde klar, dass eine KI-gesteuerte Ampelanlage für die Verkehrsplaner eine neue Komplexität der Technologie darstellt.

Schon durch die Vorrecherchen und dann auch durch das Feedback der Kommunen in den Erhebungsbögen bestätigt, sind heute zwei Elemente grundlegende Bausteine der Umsetzung von LSA-Steuerungen in den Kommunen:

Die RiLSA – Die Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) sind ein in Deutschland gültiges technisches Regelwerk und enthalten Vorgaben und Empfehlungen für die Planung und Betrieb von Ampelanlagen.

LISA+ ist ein Softwarepaket zur Planung von Lichtsignalanlagen. Es dient Verkehrsingenieuren zur Planung und Bewertung von Lichtsignalsteuerungen für Einzelknoten, für Grüne Wellen sowie für Straßennetze.

Neben der Frage, ob eine KI-Ampelsteuerung RiLSA konform wie ein LISA+ Programm zu bewerten und in der Freigabe zu behandeln ist, bis zur Installation und Wartung, sowie den Kosten ergeben sich große Unterschiede zum aktuellen Stand der Technik.

Mit der Entwicklung des KI4LSA-Prototyps in Lemgo und in den Transfer-Workshops konnten nicht alle Aspekte so weit betrachtet werden, wie sie für einen produktiven Einsatz einer KI-gesteuerten Ampel relevant wären. Für diese Transferbetrachtung wird dieser Aspekt daher offenbleiben und beschränkt sich auf die in Lemgo eingesetzten Elemente.

Dazu wurden die Erkenntnisse der Entwicklung des Prototypens und aus dem Reallabor Einsatz in Lemgo in einem Impulsvortrag zusammengetragen und mit den Transferkommunen diskutiert. Die Ergebnisse dieser Diskussionen sind in dieses Whitepaper eingeflossen.

Dabei sind die Grenzen einer KI-basierten Ampelsteuerung in drei Bereichen aufgezeigt worden:

- Die maximale Kapazität einer Ampelanlage kann durch KI nicht erhöht werden. Wenn die Verkehrssituation sich dieser Grenze nähert, wird der Mehrwert einer KI-Steuerung immer geringer.
- Die Topologie der Ampelanlage hat sich in dem Projekt als kritisch für das Anlernen des neuronalen Netzes erwiesen. Es ergeben sich große Abhängigkeiten durch die Vielzahl möglicher Fahrtrichtungen, in der Topologie begründete Behinderungen von Fahrtstrecken über die Ampel und die sich aus der Topologie und den Rahmenbedingungen ergebenden Kapazitätsgrenzen je Fahrtrichtung. Diese Faktoren sollten möglichst großräumig um die Ampelanlage herum betrachtet werden.

In der Konsequenz wird davon ausgegangen, dass das neuronale Netz des KI-Agenten des Ampel-Optimierers für jede Ampelanlage neu erlernt werden muss. Dem Prozess des Erlernens wird daher beim Transfer besondere Aufmerksamkeit erwiesen. Er stellt für die Kommunen durch den technologischen Anspruch und die verbundenen Kosten eine Hürde für den Einsatz eines potentiellen Produktes dar.

Diesem Aspekt wird in der Bewertung der Verwertbarkeit der Ergebnisse einfließen.

- Eine KI-basierte Ampelsteuerung kann nur auf erlernte Situationen optimal reagieren. Für eine langfristig optimale Steuerung der Ampelanlage wird daher ein Nachtraining empfohlen. Die Methode dieses "Nachtrainings" wurde in dem Projekt nicht behandelt, daher kann derzeit nur ein erneutes Durchlaufen der Trainingssequenz empfohlen werden.
- Die Betrachtungen beschränken sich auf die im Rahmen des geförderten Forschungsprojektes in Lemgo angewandten Komponenten. So ist die Kompatibilität des KI-Prototypen zwar in der Theorie durch die Anwendung der standardisierten OCIT-Schnittstelle gegen, umgesetzt und getestet wurde dieses im Reallabor aber nur in Verbindung mit der Technologie der Projektpartner.

Ein Zusammenspiel der KI-Lösung mit den Ampelanlagen und Steuergeräten anderer Hersteller wurde nicht geprüft.

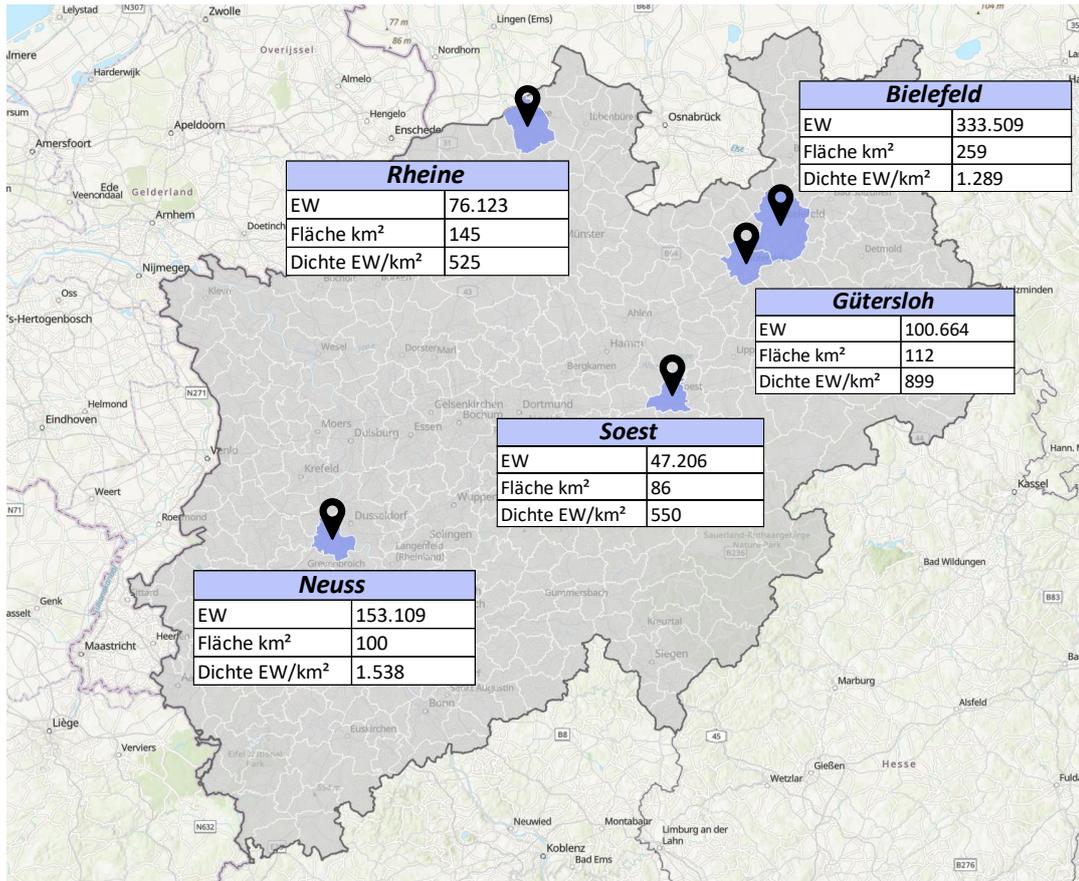
4. Methodisches Vorgehen zur Analyse eines möglichen Transfers des Prototyps

Eine Analyse zur Erhebung von Möglichkeiten des Transfers des entwickelten Prototyps fand in vier wesentlichen Schritten statt:

1. Identifizierung und Befragung potenzieller Kommunen für einen Transfer,
2. Erarbeitung von Anforderungen des Prototyps,
3. Diskussion von Möglichkeiten des Transfers im Rahmen von Workshops,
4. Zusammenfassung gewonnener Erkenntnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen (Ergebnisse siehe Kapitel 4),
auf die im Folgenden näher eingegangen wird:

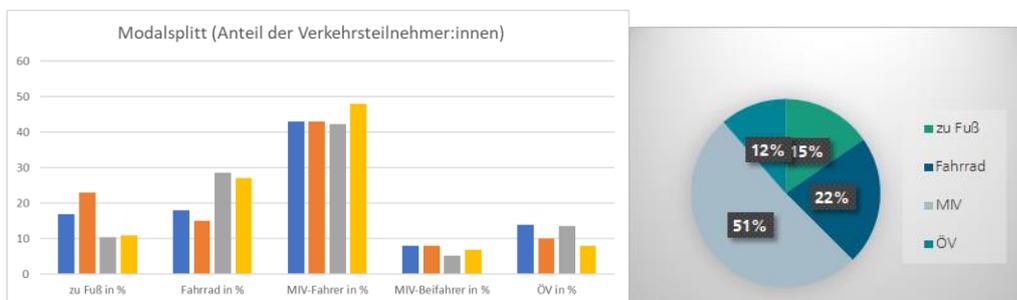
4.1 Identifizierung und Befragung potenzieller Kommunen für einen Transfer (6 Monate nach Projektstart)

Mit einem Kick-off Meeting im April 2020 wurden 9 ausgewählte Kommunen zur Prüfung der Übertragbarkeit geladen und erste generelle Anforderungen und Erwartungen diskutiert. 8 dieser 9 Kommunen haben ihr Interesse im Rahmen der Auftaktveranstaltung bekundet. Ein anschließender Erhebungsbogen diente dazu, allgemeine Fragen zur Mobilitätsstrategie und Status Quo des Verkehrssystems der Stadt sowie genauere Details eines möglichen Transferobjekts in Erfahrung zu bringen. Die Erhebungsbögen erfüllten insbesondere den Zweck, die Notwendigkeit der Optimierung der Verkehrssteuerung an einem möglichen Transferobjekt herauszufinden und die damit verbundene Bereitschaft zur Teilnahme an einer weiteren Zusammenarbeit zur Prüfung des Transfers im Rahmen eines Workshops abzufragen. Allgemeine Grundvoraussetzungen zur Teilnahme an der Transferanalyse wurden damit geprüft und in Erfahrung gebracht. Die Rücksendung der Erhebungsbögen fand von 5 Kommunen (Soest, Rheine, Gütersloh, Bielefeld, Neuss) statt, mit denen im weiteren Verlauf der Projektarbeit eine Prüfung des Transfers stattfand.



Eigenes Bild

Mit den Erhebungsbögen konnten erste Erkenntnisse über relevante Aspekte der kommunalen Verkehrsplanung und -steuerung in Erfahrung gebracht werden, die hinsichtlich der Entwicklung der Steuerungskriterien des Prototypens und eines Transfers zu berücksichtigen sind und die in die Erarbeitung der Kriterien als Anforderungen für einen Transfer (s. Schritt 2) einfließen. In allen Kommunen ist es Ziel, den Modalsplitt voranzutreiben. Die Verteilung des Verkehrsaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsträger oder Verkehrsmittel in den Transfer-Kommunen zeigt, dass die Hauptverkehrsteilnehmenden sich bisher vorrangig auf den Motorisierten Individualverkehr (MIV) verteilen, aber auch der Anteil der Fahrradfahrenden recht hoch ist.



Eigene Bilder

Darüber hinaus wurde geprüft, welche Erwartungen Kommunen im Rahmen von Optimierungszielen für die Ampelsteuerung besitzen. Neben der „Grünen Welle“ für den MIV sind die

- Stärkung der CO₂-Neutralität
- Förderung von Fuß- und Radverkehr
- Stärkung des ÖPNVs
- Reduzierung / Lenkung des Schwerlastverkehrs

weitere wichtige verkehrspolitische Ziele.

Im Laufe der Entwicklung des Prototypens wurden diese möglichen Optimierungsziele hinsichtlich einer Umsetzung geprüft. Nicht alle Optimierungsziele werden mit der KI4LSA Lösung abgedeckt. Der Fokus der Optimierung der KI4LSA Ampelsteuerung liegt in der Reduktion der Wartezeit und der Länge der Warteschlangen der Verkehrsteilnehmenden im MIV. Übertragbare Ansätze zur Optimierung des Fuß- und Radverkehrs sind denkbar.

Auch konnten Erkenntnisse gewonnen werden, die für die Projektumsetzung wichtig sind. Als konkrete Erkenntnisse für die Projektarbeit ist insbesondere das Erfordernis einer OCIT-Schnittstelle zu nennen, die die durchgängige Verkehrssteuerung von der Straße bis zur Verkehrsleitzentrale ermöglicht, sowie die Notwendigkeit von Architekturlösungen, die sich an relevante technische Regelwerke, wie die „Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr (RiLSA)“ richten. Diese Erkenntnisse wurden zur Entwicklung des Prototypens herangezogen. Außerdem wurden mit dem Erhebungsbogen unterschiedliche Lichtsignalanlagen-Hersteller identifiziert, die bei einem Transfer zu berücksichtigen sind.

4.2 Erarbeitung von Anforderungen zu Transfer an den Prototypen anhand eines Kriterienkatalogs (6 Monate vor Projektende)

Mit Ende des Projektes, voranschreitender Entwicklung des Prototypens und dem damit erzielten Ergebnissen ließen sich Kriterien erarbeiten, mit denen ein Transfer zu prüfen ist. Die Kriterien beschreiben, welche Voraussetzungen und Notwendigkeiten für die entwickelte, KI-basierte Verkehrserfassung und -steuerung konkret an der ausgewählten Verkehrskreuzung in der Stadt Lemgo gegeben sein müssen. Diese wurden in Absprache mit den Projektpartnern gesammelt und unter Berücksichtigung der Angaben aus den Erhebungsbögen in technische, regulatorische und organisatorische Anforderungen übersetzt und dann zur Prüfung des Transfers in weitere Kommunen herangezogen. Bei der technischen Betrachtung wurden die einzelnen Bestandteile (Infrastruktur, Sensorik, Edge, KI-Training, Steuergerät) das gesamte System hinsichtlich ihrer Anforderungen näher betrachtet. Organisatorische Anforderungen betrachten Projektabläufe, Akteure sowie die Notwendigkeit bestimmter Kompetenzen. Die regulatorischen Anforderungen umfassen datenschutzrechtliche Anforderungen sowie Zulassungs- und Genehmigungsabläufe.

In einem Impulsvortrag wurde den Kommunen der Stand des Projektes, sowie die für einen Transfer relevanten Elemente vorgestellt. Mit Hinweis auf die verfügbare Dokumentation des Projektes KI4LSA sind hier diese Elemente gruppiert aufgeführt, die für eine Umsetzung des KI4LSA Projektergebnisses an einer anderen / Ziel-LSA erforderlich wären:

Technische Installationen an der Ziel-LSA

- Schaltkasten zur Aufnahme der KI4LSA Recheneinheit für die LSA
 - Entweder im bestehenden Schaltkasten (von keiner der 5 betrachteten Transfer Kommunen empfohlen)
 - Oder ein neuer (halber) Schaltkasten neben dem bestehenden, dann mit Kabeldurchführung zwischen den beiden Schaltkästen



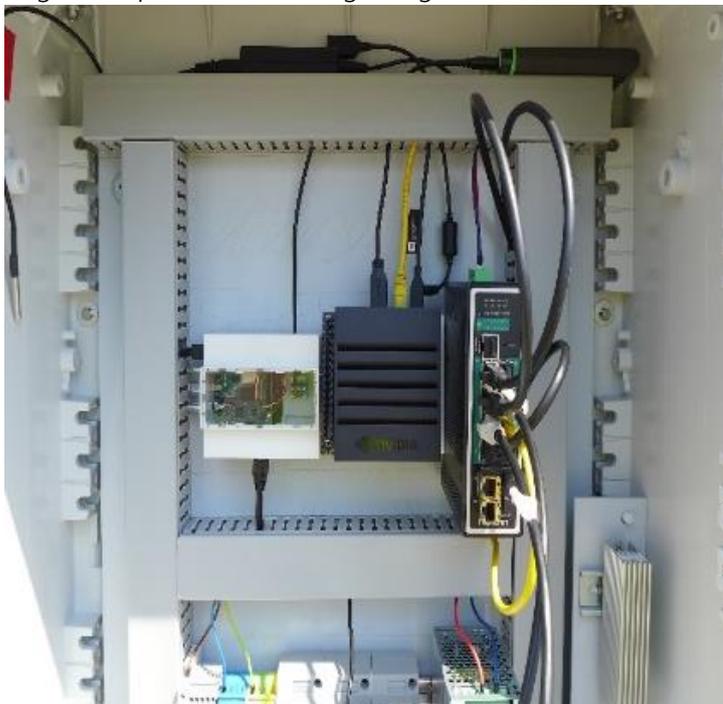
Eigenes Foto: Erweiterung des vorhandenen Schaltkastens in Lemgo,

- Kameras an den Auslegern jedes Ampelmasten
 - Stromversorgung der Kameras aus dem Schaltkasten
 - Dazu werden freie Signalleitungen verwendet, die zwischen Schaltkasten und Ampelmast verlegt sind (Dies war hier notwendig, da an der Zielkreuzung keine neuen Kabel gezogen werden konnten. Bevorzugt wäre allerdings der Einzug von Ethernet-Kabeln (CAT 6))



Eigenes Foto

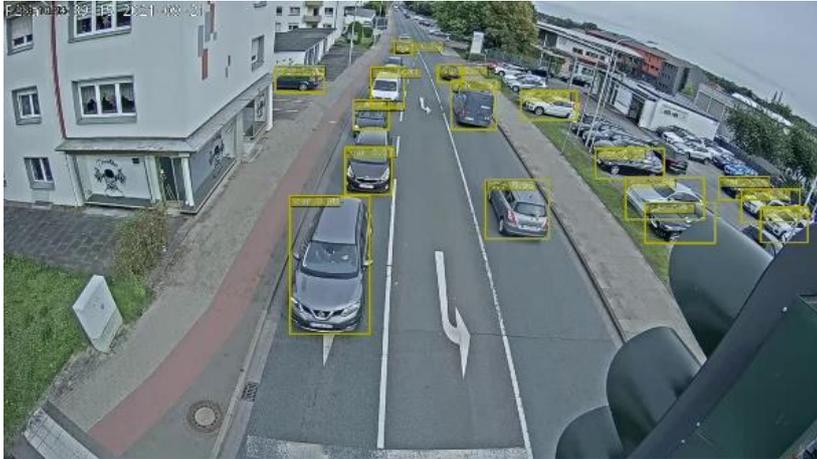
- Daten Kommunikation zwischen den Kameras und dem Rechner im Schaltkasten
 - Entweder per Ethernet Leitung, die dazu ggf neu in den bestehenden Kabelschächten verlegt werden muss
 - Oder per WLAN (5GHz oder 60GHZ). Dazu sind entsprechende Access Points an den Ampelmasten und dem Schaltkasten, sowie deren Stromversorgung vorzusehen.
- Edge-Computer mit leistungsfähiger GPU (z.B. NVIDIA Jetson AGX Xavier) im Schaltschrank



Eigenes Foto

2. Lokale Trainingsdaten für die Ampelsteuer-KI der Ziel-LSA

- Verwendung der CV KI-Agenten aus dem Projekt KI4LSA (GitHub). Diese in Lemgo trainierten Agenten erkennen Fahrzeuge nach Typen und Klassen und ermitteln die für die Ampelsteuer-KI als Eingangsparameter erforderlichen Daten. Zunächst werden die CV KI-Agenten genutzt, um Trainingsdaten zu erzeugen, die das Trainingsframework der Ampelsteuer-KI benötigt.



Eigenes Bild

- Auswahl eines geeigneten Zeitraums und Speicherung der von den CV KI-Agenten erzeugten Metadaten

3. Simulation der Ziel-Lichtsignalanlage

- Dieses Simulationsmodell der Ziel-Ampelanlage wird benötigt, um anschließend die Trainingsläufe der Ampelsteuer-KI spezifisch für diese LSA zu trainieren.
- Entwickeln eines Simulationsmodells auf Basis SUMO

4. Training der Ampelsteuer-KI unter Zuhilfenahme der Trainingsumgebung LemgoRL

- Verwenden der spezifischen Trainingsdaten (2.), das Simulationsmodell (3.) und die in Lemgo entwickelte Trainingsumgebung LemgoRL
- Die im Rahmen des Projektes KI4LSA in Lemgo entwickelte Trainingsumgebung (LemgoRL) ist als Open Source veröffentlicht
 - Diese Umgebung wurde so entwickelt, dass sie generisch mit anderen SUMO-basierten Simulationsmodellen andere LSA arbeiten kann

5. Inbetriebnahme

- Der so trainierte Agent der Ampelsteuer-KI wird ebenfalls auf den Edge-Computer im Schaltkasten der Ampel aufgespielt und mit der bestehenden Steuereinheit der Ampelanlage verbunden (Phasenwunsch Steuerung über OCIT Schnittstelle).
Letzteres ist in Verbindung mit dem Projektpartner Stührenberg entwickelt und umgesetzt worden. Die OCIT Schnittstelle stellt einen Standard dar, dennoch ist die Adaptierbarkeit an die Steuerrechner von anderen Herstellern im Einzelfall zu prüfen und ggf zu implementieren.

4.3 Diskussion von Möglichkeiten des Transfers im Rahmen von Workshops (2 Monate vor Projektende)

Mit den 5 Kommunen Soest, Rheine, Neuss, Bielefeld und Gütersloh, die in dem Projekt in der Anfangsphase durch Ausfüllen der Erhebungsbögen unterstützt haben, wurden jeweils halbtägige Workshops durchgeführt, die sich im Ablauf aus drei Komponenten zusammensetzten:

1. zu Beginn wurde das Vorgehen und zentrale Ergebnisse des Projektes in einem Impulsvortrag vorgestellt und insbesondere auf technische Details und Sicherheitsaspekte der KI-basierten Verkehrserfassung und -steuerung eingegangen, um ein Grundverständnis und Transparenz zu schaffen. Auch wurde auf Optimierungsmöglichkeiten, aber auch auf Grenzen des Prototyps ausführlich eingegangen. Anschließend wurden anhand des entwickelten Kriterienkatalogs Möglichkeiten der Übertragbarkeit an einer ausgewählten Verkehrskreuzung diskutiert.
2. die entwickelten Kriterien hinsichtlich technischer, organisatorischer und regulatorischer Anforderungen wurden dabei als Frage formuliert, um zu prüfen, ob notwendige Gegebenheiten vor Ort vorhanden sind, um vorhandene oder fehlende Prozessabläufe und Akteure in Erfahrung zu bringen sowie Herausforderungen, aber auch Notwendigkeiten zur Schaffung von rechtlichen, organisatorischen oder technischen Voraussetzungen aus Sicht der jeweiligen Kommune zu identifizieren.
3. mit Abschluss des Workshops wurde die ausgewählte Verkehrskreuzung vor Ort besichtigt, um sich ein Bild von Gegebenheiten vor Ort und insbesondere Eigenschaften der Schaltkästen zu machen.

Skizze der aus den Transforgesprächen abgeleiteten Empfehlung zur Vorgehensweise

Ein Transferprojekt muss zunächst grundsätzlich unterschieden werden zwischen Ampelanlage des Herstellers, der das Projekt KI4LSA begleitet hat, und Ampelanlagen anderer Hersteller.

Ampelanlage eines anderen Herstellers

Hier ist in einem ersten Schritt mit dem Hersteller der Steuereinheit der Ampelanlage zu prüfen, ob und wie der Prototyp an die Software des Steuergerätes angepasst werden kann.

Danach sind entsprechende Sicherheitstest durchzuführen, wie sie für den Prototypen in Zusammenarbeit mit dem im Projekt beteiligten Hersteller umgesetzt wurden.

Schritte zum Transfer des Prototyps des KI-Optimierers auf eine andere Ampelanlage

Zusammenfassung der im Impulsvortrag dargestellten Anforderungen und Inhalte, die für eine Übertragung auf eine andere Ampelanlage nötig wäre.

Vorbereitung

- Einholen der notwendigen, verkehrstechnischen Anordnungen für die Arbeiten an der Ampelanlage
- Prüfung bestehender Schaltschrank. Planung und Umsetzung der notwendigen Erweiterung des Schaltschranks
- Installation der Sensoren an den Ampelmasten, Verkabelung im Mast (Spannungsversorgung) und zum Schaltschrank (Netzwerk)

Adaption des CV-Moduls

- Installation der Kamera System entsprechend KI4LSA Prototyp
- Installation des leistungsfähigen, entsprechend Topologie der Ampel und Anzahl Kameras ausgewählten Rechners im Schaltschrank
- Inbetriebnahme des CV-KI-Moduls auf diesem Rechner

Erzeugen von Trainingsdaten

- Inbetriebnahme des CV-KI-Moduls und Speicherung der aggregierten und abgeleiteten Steuersignale für die Simulation und die KI

Training des neuronalen Netzes des KI-Optimierers

- Simulation der vollen Topologie der Ampelanlage einschließlich der Eigenschaften des Ampel-Steuergerätes (Sicherheitsfunktion und OCIT Schnittstelle)
- Training des neuronalen Netzes der KI, unter Verwendung der Trainingsdaten (siehe zuvor) und der Simulation
 - o Dieses Training muss auf Grund der Komplexität und der erforderlichen Rechenleistung auf einem Hochleistungsrechner erfolgen.

Adaption des KI-Optimierers

- Inbetriebnahme des trainierten Agenten auf dem KI-Rechner im Schaltschrank der Ampelanlage
- Test der Sicherheitsfunktionen und Abnahme

Im Folgenden ist der Kriterienkatalog aufgeführt, der in den Transfer Workshops mit den 5 Transferkommunen bearbeitet wurde.

Kriterienkatalog

Art der Anforderung	Typ der Anforderung	Beschreibung der Anforderung
	CV-System	Kann übernommen werden, eventuell individuelle Anpassungen
Technisch	Infrastruktur	Optische Sensoren (Kameras) an den Ampelmasten in alle Fahrtrichtungen, Stromversorgung
Technisch	Infrastruktur	Ausreichend Platz in Kabelkanälen von den Kameras in dem Ampelmast (Netzwerk und Spannungsversorgung) bis zum Schaltkasten (Netzwerk).
Technisch	Infrastruktur	Optional: Anbringen WLAN Access Points an den Ampelmasten und an dem Schaltkasten
Technisch	Infrastruktur	Schaltkasten Erweiterung im bestehenden Schaltkasten oder daneben (von allen Transferkommunen empfohlen) mit ausreichend Platz für den KI-Rechner und Kühlkapazität für ca. 60 Watt Wärmeleistung des Rechners und des Netzteils. Optional: WLAN Access Point für die Anbindung von Kameras per WLAN, Gateway für die Anbindung der Messeinrichtungen für Emissionswerte
Technisch	Sensorik	Montage Kameras an allen Ampelmasten mittig über den abzudeckenden Fahrspuren, optimal mit 1 Meter Erhöhung über dem Ampelmast
Technisch	Sensorik	Messeinrichtung für Emissionswerte maximal 10 Meter vor / hinter einer Ampel, mit ausreichend Vandalismussicherung
Technisch	Sensorik	Daten von entfernten Induktionsschleifen oder anderen Sensoren sollten als Steuersignale der KI Steuerung bereitgestellt werden können
Technisch	Edge	Leistungsfähiger Rechner, z.B. auf Basis NVIDIA Jetson AGX, Leistungsoptimierung durch GPU-Beschleunigung und Binden von Prozessen an CPU-Kerne, je ein CPU-Kern für die Computer Vision Berechnung jedes Sensors für Verkehrserfassung, eine CPU-Kern für die Ablaufsteuerung und den KI-Agenten der Ampelsteuerung, sowie eine CPU-Kern für die parallele Bearbeitung der Speicherung aggregierter Daten
Technisch	KI Training	Simulation der Ampelanlage in ihrer vollen Topologie, mit Anbindung der vorhandenen Sensoren, sowie Übertragung der Eigenschaften der existierenden Ampelsteuerung (Sicherheitsfunktion und OCIT-Schnittstelle) in die Simulation

Technisch	KI Training	Aufnahme repräsentativer Trainingssequenzen durch die CV-Agenten der Verkehrserfassung
Technisch	KI Training	Bereitstellung (z.B. Miete) eines leistungsfähigen Rechners für die Simulation und das Training der KI zur Umsetzung der KI-Trainingsläufe
Technisch	Steuergerät	Das Steuergerät muss die freie OCIT-Schnittstelle unterstützen und bestimmte Latenzzeiten für die Bearbeitung von Phasenwünschen und Rückmeldungen einhalten
Technisch	Steuergerät	Das Steuergerät muss eine Trennung der eigentlichen Phasensteuerung / der Entgegennahme eines Phasenwunsches und einer Sicherheitslogik erlauben, die alle sicherheits- und Richtlinienspezifischen Anforderungen abdeckt

Art der Anforderung	Typ der Anforderung	Beschreibung der Anforderung
Organisatorisch	Kompetenz	Fähigkeit zur / Erfahrung mit der Organisation und Steuerung eines derart komplexen Projektes
Organisatorisch	Netzwerk	Intensität der Zusammenarbeit in der Verwaltung und mit Eigenbetrieben in der Stadt in Bezug auf Verkehrstechnik
Organisatorisch	Netzwerk	Intensität der Zusammenarbeit mit anderen Organisationen außerhalb der Stadtverwaltung zu diesen Themen
Organisatorisch	Rollenverständnis	Verständnis der Anforderungen zur Umsetzung und für eine spezifische Anpassung
Organisatorisch	Rollenverständnis	Klare Zuordnung der Verantwortung zur Freigabe eines solchen Ampel-Schaltschema und zur Freigabe der KI-Funktion in Kombination mit der vorhandenen Ampelsteuerung
Organisatorisch	Techn. Kompetenzen	Erstellung von oder externe Durchführung von Verkehrssimulationen (SUMO, andere)
Organisatorisch	Techn. Kompetenzen	Einsatz von KI-Elementen (über alle Bereiche der Verwaltung hinweg)

Art der Anforderung	Typ der Anforderung	Beschreibung der Anforderung
Regulatorisch	Datenschutz	Umgang mit der Aufnahme von Videos als Trainingsdaten für eine KI
Regulatorisch	Datenschutz	Einsatz von optischen Sensoren / Kameras an Ampeln oder an einer Straße zur Verkehrserfassung
Regulatorisch	Datenschutz	Bedeutung des Datenschutzes der Verkehrs-Infrastruktur aus der Sicht der Akteure
Regulatorisch	Datenschutz	Bedeutung des Datenschutzes der IT-Infrastruktur aus der Sicht der Akteure
Regulatorisch	Open Data	Inwieweit spielt Open Data eine Rolle? Wenn ja, welche Inhalte erscheinen sinnvoll und wie

		sollten die an die Zielgruppe bereitgestellt werden?
Regulatorisch	Zulassungen	Fühlt sich die Kommune in der Lage Freigaben von Schaltschemata für die vorgestellte Lösung mit einer KI-basierten Steuerung umzusetzen (verkehrstechnische Anordnung)
Regulatorisch	Zulassungen	Welche Arten von Zulassungen sind darüber hinaus zu beachten

Zusammenfassung gewonnener Erkenntnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Zunächst muss festgehalten werden, dass die Realtests des KI-Optimierers mit der Ampelanlage des Herstellers Stührenberg in Lemgo eine Verbesserung der verkehrsrelevanten Kennwerte um etwa 10% nachgewiesen haben, was eine Verbesserung der Emissionswerte um 10% bis 20% bedeutet.

Diese Ergebnisse wurden von allen Transfer Kommunen begrüßt, ebenso wie die sich ergebenden Nutzen aus selbständiger Adaption der KI an sich ändernde Verkehrsverhältnisse um die Ampelanlage und eine potentiell vereinfachte, weil im Vorgehen standardisierte Entwicklung bzw. Training der KI-Agenten.

Hier wird Potential für Verkehrsoptimierungen und Aufwandsreduktion gesehen. Einschränkend muss an dieser Stelle festgestellt werden, dass diese Aspekte erst nach der Weiterentwicklung des Prototyps zu einem Produkt für die Kommunen umsetzbar sind.

Alle Kommunen haben das Potential von KI zur Optimierung der Steuerung von Ampelanlagen bestätigt. Das gilt nicht nur für eine Optimierung des MIV, sondern auch für das Potential einer solchen Lösung eine aktive Steuerung des Modalsplits zu unterstützen, ggf. mit Ergänzung durch andere Produkte, die sich mit Fußverkehr, Radverkehr und ÖPNV beschäftigen. Hier sei der Hinweis auf das zeitgleich laufende Projekt KI4PED erlaubt, in dem eine intelligente Steuerung einer Fußverkehrs-Ampel adressiert wird.

Aus den Transfergesprächen werden folgende, für den Transfer relevante Ergebnisse abgeleitet:

Alle betrachteten Transferkommunen verfügen über Kapazitäten und Kompetenzen im Bereich der Verkehrsplanung und in Bezug auf Lichtsignalanlagen. Unterschiede ergeben sich in der Tiefe der Abdeckung einzelner Themenfelder durch die Verwaltung und die Eigenbetriebe und den Einsatz externer Dienstleister. Grundsätzlich haben alle betrachteten Kommunen ausreichend Kompetenzen, um den Wert und Mehrwert, sowie die Einschränkungen einer KI-gesteuerten LSA beurteilen zu können.

Erfahrungen in ähnlich komplexen Projekten im Bereich Verkehrssteuerung haben nur wenige der betrachteten Kommunen.

Allerdings weist keine der betrachteten Transferkommunen eigene Kompetenzen im Bereich der künstlichen Intelligenz aus. Auch hat keine der Transferkommunen je selber Projekte mit KI-Elementen umgesetzt.

Auch im Bereich der Simulation zeigt sich ein ähnliches Bild. Hier wurden in einigen Fällen allerdings auch Verkehrsexperten hinzugezogen, die Simulationen von Verkehrsbereichen

oder auch Ampelanlagen umgesetzt habe. In einer der 5 betrachteten Städte werden derartige Technologien mit einer gewissen Systematik eingesetzt.

Diskussion der Übertragbarkeit mit Ampelanlagen bzw. Steuerrechnern anderer Hersteller

Durch systematische Anwendung von Standards, abgeleitet aus der RiLSA (vergl. [Richtlinien für die Anlage von Lichtsignalanlagen \(RiLSA\) \(forschungsinformationssystem.de\)](#)), sowie den etablierten OCIT-Schnittstellen (vergl. [Schnittstellen / OCIT](#)) soll eine größtmögliche Adaptierbarkeit des Prototypen an unterschiedliche Ampelsteuerungen verschiedener Hersteller erreicht werden. Neben der Bereitstellung einer OCIT Schnittstelle werden an die Leistungsfähigkeit der Steuergeräte der Hersteller weitere Anforderungen gestellt. Diese beziehen sich auf die Geschwindigkeit, mit der Daten / Phasenwünsche in dem Steuergerät bearbeitet werden und eine Antwort an das KI Modul geschickt wird, sowie die Art der Umsetzung der Phasensteuerung und einer separaten Sicherheitsfunktion.

4 der 5 betrachteten Ampelanlagen der Transferkommunen setzen Ampel anderer Hersteller ein, als sie für den Prototyp verwendet wurden.

Eine Prüfung der Kompatibilität mit den Steuergeräten anderer Hersteller erfolgte im Rahmen des Projektes in Lemgo nicht. Wir müssen daher davon ausgehen, dass sowohl Software-Anpassungen bei den Herstellern erforderlich sind, als auch weitere Tests.

Es wurden 2 elementare Anforderungen abgeleitet, die die Adaptierbarkeit bestimmen.

- Unterstützung OCIT-Schnittstellen, insbesondere Phasenwunschsteuerung. Besondere Anforderungen bestehen hinsichtlich der Latenz der Bearbeitung von Phasenwünschen und von Rückmeldungen des Steuerrechners an die KI-Steuerung
- Trennung der eigentlichen Steuerlogik des Ampel Steuerrechners von einer Sicherheitsfunktion der Ampel, die alle sicherheits- und verkehrsrelevanten Richtlinien abdeckt. Adressierung dieser Sicherheitsfunktion durch "Phasenwunsch", entsprechend OCIT-Definition

5 Schlusswort

Mit KI4LSA konnte die Funktion und Wirksamkeit einer auf Reinforcement Learning (RL) basierenden KI-Steuerung für eine Ampelanlage exemplarisch nachgewiesen werden.

Die Optimierung von Verkehrsparametern und von Umwelteinflüssen wurde sowohl in Lemgo, als auch in allen 5 Transfergesprächen positiv beurteilt. Gleiches gilt für das Potential, welches eine breite Anwendung einer solchen Lösung für viele Ampelanlagen verspricht. Dabei wurden folgende Vorteile besonders hervorgehoben:

- Optimierung des Verkehrsflusses, weniger Stress, weniger Abgase, weniger Lärm
- Ein trainierter KI-Agent bietet das Potential mit sich ändernden Verkehrsbedingungen besser und länger gut zurechtzukommen, als eine klassische Ampelsteuerung – damit bleiben Ampelanlagen länger aktuell. Der Aufwand zur Programmierung neuer Steuerprogramme verringert sich im Vergleich zur klassischen Steuerung

- Das Training eines KI-Agenten wurde mit LemgoRL soweit vereinheitlicht, dass diese Trainingsumgebung leicht auf andere Ampeln übertragen werden kann. Unter der Annahme, dass die Simulation des LSAs im Interesse der Kommunen liegt, bietet dieses in Lemgo entwickelte Framework Potential zur Verringerung der Aufwände bei der Erstellung eines Ampelsteuerprogramms, jetzt KI-basiert, im Gegensatz zu den jeweils individuellen Steuerprogrammen für klassische Steuerungen.

Dem hohen Potential steht auf der anderen Seite die Erfahrung und das Knowhow in Bezug auf KI-basierte Ampelsteuerungen entgegen, über das die Kommunen heute verfügen. An dieser Stelle sind Trainingsangebote, Angebote zum spezifischen Knowhow Aufbau, aber auch Unterstützungsangebote vertrauenswürdiger und kompetenter Partner notwendig. Daneben wünschen sich die Kommunen eine angepasst RiLSA, die auf KI-basierte Ampelsteuerungen eingeht.

Beispielhaft sind hier zwei Statements von teilnehmenden Transferkommunen aufgeführt:

Frau Nina Herrling, Technische Beigeordnete der Stadt Gütersloh, sagt: *„Mobilität und Erreichbarkeit sind für die Stadt Gütersloh als moderne und wachsende Großstadt ein zentrales Thema. Mit dem Masterplan Klimafreundliche Mobilität wurde bereits ein Konzept aufgestellt, um das zukünftige Verkehrsangebot in Gütersloh vernetzter, attraktiver und gleichzeitig nachhaltiger im Sinne von Mensch und Umwelt entwickeln zu können. Ein Baustein dieser Strategie ist die Fortführung und Weiterentwicklung der digitalen Verkehrssteuerung.“*

Das in Lemgo durchgeführte Forschungsprojekt KI4LSA für eine KI gesteuerte Ampelsteuerung hat die Stadt Gütersloh mit größtem Interesse verfolgt. Aufgrund der zu erkennenden Potentiale einer solchen Steuerung wird die Stadt Gütersloh die weitere Forschungsarbeit verfolgen und gerne unterstützen.“

Herr Philipp Leu, Amt für Stadtplanung, Abteilung Verkehrsplanung der Stadt Neuss, führt aus:

„KI4LSA stellt einen spannenden Ansatz zur intelligenten und langfristig optimierten Verkehrsflusssteuerung an Lichtsignalanlagen dar. Wir versprechen uns von einem Einsatz dieser Technik in Neuss Vorteile hinsichtlich der Verkehrsabwicklung sowohl für den motorisierten Verkehr, aber auch für den Fuß- und Radverkehr sowie eine Chance zur Reduzierung der Schadstoffbelastung. Nach der Weiterentwicklung zu einem marktreifen Produkt wären wir sehr an der Umsetzung der KI-Lösung im Stadtgebiet interessiert.“

Zusammengefasst erscheinen uns der Wert der Lösung für das Gemeinwohl und der Wert einer Weiterentwicklung des Prototyps hier anschaulich beschrieben. Erst damit ist der Grundstein für einen breiten Einsatz dieser Lösung gegeben.

Verweise

Open-Source-Bereitstellung von Software und Daten im Rahmen des Forschungsprojektes KI4LSA

Die zur Entwicklung der KI-Lösung aufgenommen und verarbeiteten Daten sowie das Softwareframework zum Trainieren der KI *LemgoRL* wurden der Community kostenlos und im Open-Source-Format zur Verfügung gestellt.

Das Softwareframework **LemgoRL** wurde unter der modernen Open-Source-Lizenz GPL-3.0 auf **GitHub** veröffentlicht: <https://github.com/RL-INA/LemgoRL>

Zu Demonstrationszwecken wurde ein Video auf YouTube geladen:

<https://youtu.be/MNPH1k5h1-g>

LemgoRL wurden zusammen mit den Verkehrszählern, die zur Erstellung des Simulationsmodells genutzt wurden, und Zählern, die das Verkehrsaufkommen im Sommer 2022 auf Basis der Kameraauswertung umfassen, in die **mobilithek** geladen:

<https://mobilithek.info/offers/488392016982310912>

Die Mobilithek ist eine Plattform des Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) zum Austausch digitaler Informationen von Mobilitätsanbietern, Infrastrukturbetreibern und Verkehrsbehörden sowie Informationsanbietern:

<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mobilithek.html>

Quellenverzeichnis

RiLSA [Richtlinien für die Anlage von Lichtsignalanlagen \(RiLSA\) \(forschungsinformationssystem.de\)](https://www.forschungsinformationssystem.de)

<https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/340295/>

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement, Richtlinien für Lichtsignalanlagen - RiLSA - Lichtzeichenanlage für den Straßenverkehr, Köln: FGSV Verlag GmbH, 2015.

OCIT Schnittstellen / OCI

<https://www.ocit.org/de/ocit/schnittstellen/>