JENA LICHTSTADT.

5G VERKEHRS-VERNETZUNG JENA

Projekt 5G-Verkehrsvernetzung

Schlussbericht

„5G-basierte V2X-Vernetzung zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zur Optimierung des multimodalen Verkehrs und der Energieversorgung in Jena“ – „Jena5G_V2X“

Gefördert durch:

Bundesministerium für Digitales und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung 3
2. Aufgabenstellung 3
2.1. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 4
3. Planung und Ablauf des Vorhabens 4
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde 5
4.1. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste 5
4.2. Projektmanagement-Software 6
4.3. Datenplattformen und Open-Source-Dienste 6
4.4. Fachportale für Smart City- und Verkehrsprojekte 6
4.5. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden 6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 7
6. Erzielte Ergebnisse 7
6.1. Teilaufgabe 1: „Projektmanagement“ 7
6.2. Teilaufgabe 2: „Datenbroker“ 9
6.3. Teilaufgabe 3: „Kooperative LSA“ 10
6.4. Teilaufgabe 4: „Informative LSA“ 11
6.5. Durchführung und Aktivitäten 11
7. Kostenplanung 13
7.1. Personalkosten Kostenstellen 0812 und 0817 13
7.2. Gerätebeschaffung Kostenstellen 0831 und 0850 13
7.3. Auftragsvergabe Kostenstelle 0835 13
8. Voraussichtlicher Nutzen 14
8.1. Fortschritt auf diesem Gebiet bei anderen Stellen 14
9. Erfolgskontrollbericht 14
10. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses 15
10.1. Wissenschaftliche Publikationen 15
10.2. Fachartikel und Bücher 15
10.3. Open-Source-Veröffentlichungen 16
10.4. Präsentationen 16
10.5. Öffentlichkeitsarbeit und Berichterstattung 16
11. Ausblick 17

1. Einführung

Die Stadt Jena hat sich frühzeitig für die digitale Transformation entschieden und das 5G-basierte Projekt als Teil ihrer Smart-City-Strategie etabliert. Bereits seit 2020 besteht in Jena eine flächendeckende 5G-Versorgung, die als technologische Grundlage für die Umsetzung dieses innovativen Vorhabens diente.

Das Verbundprojekt wurde durch das Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur mit 3,9 Millionen Euro gefördert. Es zielt darauf ab, die Verkehrssicherheit zu erhöhen und den multimodalen Verkehr zu optimieren. Dabei wurden zukunftsweisende Technologien wie C-V2X-Kommunikation und intelligente Verkehrsinfrastrukturen wie kooperative Lichtsignalanlagen genutzt. Neben der reinen Verkehrsinfrastruktur wurden auch Lösungen zur Lastprognose und zum Lastmanagement entwickelt, um den Energiebedarf des öffentlichen Personennahverkehrs effizient zu steuern und zu optimieren.

Die Stadt Jena übernahm die Gesamtprojektleitung und fungierte als Konsortialführerin des Verbundprojektes. In enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft konnte umfassendes Know-how eingebracht werden. Zu den beteiligten Unternehmen aus Thüringen und Sachsen zählten die Firmen Data in Motion Consulting GmbH aus Jena sowie die INAVET – Institut für angewandte Verkehrstelematik GmbH aus Dresden. Die Technische Universität Dresden und die Hochschule Mittweida brachten ihr wissenschaftliches Knowhow aus langjähriger Forschung im Bereich vernetzte Mobilität und digitale Energiewirtschaft ein.

Zu den Konsortialpartnern gehörten zudem die Stadtwerke Jena Netze GmbH, die Jenaer Nahverkehrs GmbH sowie – als assoziierte Partner – die Mobilfunknetzbetreiber Vodafone und Deutsche Telekom. Mit der frühzeitigen flächendeckenden 5G-Netzabdeckung waren ideale Voraussetzungen für die Umsetzung des Projekts geschaffen worden.

Die Aktivitäten der Stadt Jena umfassen nicht nur die technischen Innovationen, sondern auch die strategische Einbettung in die gesamte Stadtentwicklung. Durch das Projekt konnte sich die Stadt Jena als Vorreiterin auf dem Gebiet der digitalen Stadtentwicklung und Mobilität positionieren. Die gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Lösungen dienen auch anderen Städten als Vorbild und wurden bzw. werden in Jena bereits in laufende sowie zukünftige Stadtentwicklungsprojekte integriert.

2. Aufgabenstellung

Das Projekt „5G-basierte V2X-Vernetzung zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zur Optimierung des multimodalen Verkehrs und der Energieversorgung in Jena“ wurde initiiert, um den urbanen Verkehr in Jena zu verbessern und gleichzeitig die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Ziel war es, durch den Einsatz der 5G-Technologie eine ganzheitliche Vernetzung von Verkehrsteilnehmenden,

Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeugen zu ermöglichen. Dies sollte nicht nur den Verkehrsfluss optimieren, sondern auch die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden, einschließlich der Fußgängerinnen und Fußgänger sowie Radfahrende, erhöhen. Zudem sollte die Energieversorgung für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) unter Berücksichtigung der Elektromobilität und den damit verbundenen Lastspitzen optimiert werden.

2.1. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projektgebiet, die Stadt Jena, ist seit 2020 mit einer flächendeckenden 5G-Versorgung ausgestattet, die die Grundlage für die Umsetzung des Projekts bildet. Dies bedeutet, dass eine leistungsstarke, zuverlässige Infrastruktur für die Echtzeitkommunikation zur Verfügung steht, um die geplanten Anwendungen (wie kooperative Lichtsignalanlagen und Fahrerassistenzsysteme) zu realisieren. Darüber hinaus wirkte die Stadt Jena als Konsortialführerin und konnte auf die Unterstützung der lokalen Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie Mobilfunkanbieter wie Deutsche Telekom und Vodafone zählen. Im Rahmen des 5G-Modellprojekts wurde eine gezielte Mobilfunkstrategie entwickelt, die als zentrale Zielstellung den weiteren Ausbau des 5G-Netzes sowie die Optimierung der Versorgung des Projektgebiets verfolgte. Ein bedeutender Fortschritt war der vorzeitige Ausbau des 5G-Netzes im gesamten Stadtgebiet durch die Deutsche Telekom, wodurch eine flächendeckende 5G-Versorgung im Projektkontext gegeben war. Als eine der ersten Städte (neben Dresden, Saarbrücken und Chemnitz) in Deutschland hat Jena im Februar 2022 eine Rahmenvereinbarung mit der Deutsche Funkturm GmbH (DFMG) abgeschlossen, um die infrastrukturellen Voraussetzungen für den langfristigen Mobilfunkausbau zu schaffen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war ursprünglich auf eine Laufzeit von drei Jahren (2021-2023) ausgelegt und wurde auf Antrag der Stadt Jena kostenneutral bis 30.06.2024 verlängert. Die Stadt Jena initiierte das Projekt, übernahm die Konsortialführung und koordinierte das Projektkonsortium über alle Phasen hinweg. Darüber hinaus stellte sie die zentrale Projektplattform bereit und übernahm im Rahmen eines aktiven Stakeholdermanagements die Identifikation sowie die gezielte Einbindung relevanter Akteursgruppen. Zu den weiteren Aufgaben der Stadt zählten die Öffentlichkeitsarbeit, die Organisation und Durchführung vielfältiger Veranstaltungsformate, die Sicherung des internen und externen Wissenstransfers sowie die systematische Dokumentation der Projektergebnisse.

Zur Sicherstellung eines reibungslosen Projektverlaufs wurde die Projektorganisation von Beginn an klar strukturiert. Über die gesamte Laufzeit hinweg fanden Projektmeetings und Workshops statt und dienten der Abstimmung und Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Partnern und zur gemeinsamen Zielverfolgung

unter Berücksichtigung sich veränderter Projektanforderungen und Rahmenbedingungen. Ergänzend dazu wurden wöchentliche Jour Fixes der Gesamtprojektleitung sowie monatliche Statusbesprechungen durchgeführt. Eine unter der Leitung der Stadt eingerichtete Arbeitsgruppe „Verkehrstechnik“ widmete sich der Evaluierung der technischen Voraussetzungen für den Einsatz intelligenter Lichtsignalanlagen. Eine besondere Herausforderung bestand in der Bereitstellung lückenloser und aktueller Verkehrsdaten auf Grundlage der Detektion aller Verkehrsteilnehmenden.

Darüber hinaus fanden quartalsweise Abstimmungen zwischen der Gesamtprojektleitung und dem Projektträger statt, um regelmäßig über den Projektfortschritt und potenzielle Risiken zu berichten.

Zu den größten Herausforderungen zählte die Integration unterschiedlicher Technologien und Systeme – darunter C-V2X-Kommunikation, Datenbroker und intelligente Lichtsignalanlagen – in die bestehende urbane Verkehrsinfrastruktur.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Projekt knüpfte an bestehende wissenschaftliche und technische Konzepte im Bereich der Verkehrsinformatik und 5G-basierter Vernetzung an. Besonders relevant waren Entwicklungen im Bereich der Fahrzeug-Vernetzung (V2X) und der Integration von 5G-Netzen im urbanen Raum. Der SensiNact-Datenbroker, ein zentrales Element des Projekts, basiert auf einer modernen Open-Source-Architektur, die in anderen Städten bereits erfolgreich eingesetzt wurde. Das Projekt hob sich von bisherigen Lösungen dadurch ab, dass die Vernetzung zwischen dem SensiNact-Datenbroker als zentrale Instanz und den Clients von Beginn an auf einer 5G-basierten Architektur beruhte. Dadurch unterschied sich das Umsetzungskonzept deutlich von den auf WLANp-Technologie basierenden Ansätzen vergleichbarer Projekte.

4.1. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Für die Durchführung und Dokumentation des Projekts „5G-basierte V2X-Vernetzung zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zur Optimierung des multimodalen Verkehrs und der Energieversorgung in Jena“ wurden wissenschaftliche und technische Ressourcen sowie spezialisierte Informationsdienste genutzt. Diese unterstützen die Planung, Durchführung und Evaluierung der verschiedenen Teilprojekte und der angewandten Technologien.

Für die Projektkoordination, den Wissensaustausch sowie die Dokumentation der Ergebnisse wurden mehrere spezialisierte Informations- und Dokumentationsdienste eingesetzt.

4.2. Projektmanagement-Software

- Jira Software (Atlassian): Für die Verwaltung der Aufgaben und das Monitoring des Projektfortschritts wurde die Jira-Plattform verwendet. Diese ermöglichte es, den Status der Aufgaben zu überwachen, Deadlines einzuhalten und die Kommunikation zwischen den Partnern zu erleichtern.
- SharePoint (Microsoft): Ein zentraler SharePoint wurde eingerichtet, um Dokumente, Projektpläne und Berichte zu teilen und eine effiziente Zusammenarbeit zwischen allen Projektpartnern zu gewährleisten.

4.3. Datenplattformen und Open-Source-Dienste

- SensiNact (Eclipse Foundation): Der SensiNact-Datenbroker, der eine Schlüsselrolle in der Datenverarbeitung und -analyse des Projekts spielte, ist als Open-Source-Software in der Eclipse Foundation dokumentiert. Diese Plattform ermöglicht es, Echtzeitdaten aus verschiedenen Quellen zu verarbeiten und zu analysieren und wird auch für die weitere Nutzung in anderen Städten zur Verfügung gestellt.
- GitHub: Als Plattform für die Versionierung und Verwaltung des Open-Source-Codes, der im Projekt entwickelt wurde, diente GitHub, insbesondere für die Bereitstellung von APIs und Softwarekomponenten, die für die Vernetzung und Kommunikation im V2X-System erforderlich sind.

4.4. Fachportale für Smart City- und Verkehrsprojekte

- Smart City Jena Website: Über die städtische Website wurden regelmäßig Projektfortschritte und Ergebnisse kommuniziert. Diese diente als zentrale Informationsplattform für Bürgerinnen und Bürger und andere Stakeholder, die sich über die Entwicklung des Projekts informieren wollten.

Durch die Nutzung der Informationsdienste konnte sichergestellt werden, dass alle relevanten Daten, Ergebnisse und Fortschritte transparent und nachvollziehbar dokumentiert wurden. Dies förderte die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Partnern und stellte sicher, dass die entwickelten Technologien in der Praxis effektiv umgesetzt und in zukünftige Smart City-Initiativen integriert werden können.

4.5. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Für das Projekt wurden die neuesten Entwicklungen im Bereich der 5G-Kommunikation und Fahrzeug-Vernetzung genutzt. Der SensiNact-Datenbroker stellt dabei ein zentrales Verfahren dar, das auf den neuesten Standards der Open-Source-Software aufbaut und als Open-Source-Projekt weiterentwickelt wird. Das Konzept der kooperativen Lichtsignalanlage und die Verwendung von C-V2X-Kommunikation stellen ebenfalls innovative Verfahren dar.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde gemeinsam mit zahlreichen Partnern umgesetzt, darunter kleine mittelständische Unternehmen wie Data in Motion Consulting GmbH und INAVET GmbH, Forschungseinrichtungen wie der TU Dresden und der Hochschule Mittweida sowie städtische Unternehmen wie Stadtwerke Jena Netze und Jenaer Nahverkehr. Zudem war eine enge Abstimmung mit den assoziierten Projektpartnern Vodafone und Deutsche Telekom erforderlich, um eine stabile und zukunftssichere 5G-Versorgung im gesamten Stadtgebiet zu gewährleisten.

Das Thüringer Wirtschaftsministerium (TMWWDG) hat das Projekt von Beginn an begleitet und unterstützt. Die der Umsetzungsphase vorgelagerte Konzeptphase wurde durch das TMWWDG gefördert und damit die Antragstellung für das gegenständliche Förderprojekt und die Erarbeitung des Jenaer Umsetzungskonzeptes ermöglicht.

In der Zusammenarbeit der Akteure aus Verwaltung, Forschungseinrichtungen und der Wirtschaft flossen verschiedene Wissensstränge und Erfahrungswerte zusammen. Diese Kooperationen an der Schnittstelle zwischen cross-funktionalem Know-how und Engagement waren für das Projekt besonders wichtig: Hier wurden existierende Limitierungen der bisherigen Lösungen besonders transparent und es entstanden neue Ansätze und Ideen.

6. Erzielte Ergebnisse

Im Verlauf des Projekts wurden mehrere erfolgreiche Ergebnisse erzielt, die in den folgenden vier Teilaufgaben strukturiert sind:

6.1. Teilaufgabe 1: „Projektmanagement“

Im Bereich des Projektmanagements übernahm die Stadt Jena die Verantwortung für die Leitung und Organisation des gesamten Projektes. Dies beinhaltete nicht nur die tägliche Steuerung, sondern auch die kontinuierliche Kommunikation und Koordination zwischen den Partnern. Ziel war es, eine effiziente Projektsteuerung und ein effektives Anforderungsmanagement zu gewährleisten.
Dafür wurden wöchentliche Jour Fixes, monatliche Statusbesprechungen und regelmäßige Workshops organisiert, um den Austausch zwischen allen Beteiligten zu fördern und die Ziele des Projekts abzustimmen.

Als Basis für ein Risk Assessment wurde mit Projektstart eine SWOT-Analyse durchgeführt, bei der es neben der Formulierung von Projektchancen und -stärken vor allem darum ging, mögliche Schwächen und Risiken der weiteren Projektaktivitäten zu erfassen. Für jede einzelne der identifizierten Schwächen und Risiken wurden Vorschläge für eine Risk Mitigation erstellt und sukzessive umgesetzt.

Neben der kontinuierlichen Anpassung der Planung an geänderte Anforderungen (z. B. durch die Pandemie) wurde ein umfassendes Stakeholdermanagement etabliert, welches die Einbindung aller relevanten Partner sicherstellte. Darüber hinaus wurde eine intensive Öffentlichkeitsarbeit betrieben, um die Stadt Jena als Modellstadt für 5G-basierte Projekte zu positionieren.

Die Öffentlichkeitsarbeit stellte einen kontinuierlich verfolgten Aufgabenschwerpunkt im Projektverlauf dar. Sie diente primär der Information relevanter Akteursgruppen, der Steigerung des Bekanntheitsgrades der 5G-Modellregion sowie der Erweiterung der Reichweite durch die Ansprache neuer Zielgruppen. Seit März 2022 steht eine projektspezifische Website zur Verfügung, die fortlaufend durch multimediale Inhalte – darunter Erklärfilme, ein Roadmovie sowie ein Podcast-Format – ergänzt wurde.

Zur Förderung der Sichtbarkeit im öffentlichen Diskurs sowie zur gezielten Einbindung unterschiedlicher gesellschaftlicher und fachlicher Zielgruppen wurden zudem verschiedene Veranstaltungsformate genutzt. Hierzu zählen unter anderem ein Hackathon, ein 5G-Forum, der Data Science Day mit der Friedrich-Schiller-Universität der Stadt Jena sowie der „Markt der digitalen Möglichkeiten“ des Bundes-Digital-Gipfels 2023, die dazu beitrugen, das Thema 5G in den öffentlichen Raum zu tragen und vielfältige Interessensgruppen einzubinden.

Im Rahmen der Vernetzung wurden verschiedene Formate zur Vorstellung technischer Konzepte sowie zur aktiven Mitgestaltung technischer Spezifikationen wahrgenommen. So erfolgte im Kontext der EclipseCon 2023 eine Präsentation technischer Architekturen des projektspezifischen Datenbrokers durch ein Partnerprojekt der Kentyou im Rahmen der Open-Source-Initiative Eclipse SensiNact. Parallel dazu erfolgte eine aktive Mitarbeit in der OSGi Working Group, insbesondere bei der Erarbeitung eines Kapitels zum Thema EventBus – einem zentralen Bestandteil für innerbetriebliche Ereigniskommunikation im Datenbroker.

Diese Aktivitäten dienten dem internationalen Wissenstransfer sowie der Förderung von Standardisierungsprozessen durch gemeinschaftliche Open-Source-Community-Arbeit.

Auch auf normativer Ebene wurde durch die Mitarbeit in Arbeitskreisen zur Erstellung von DIN-Spezifikationen, etwa zu Digitalen Zwillingen und Urbanen Datenplattformen, ein substanzieller Beitrag zur Ausgestaltung einheitlicher Standards im urbanen Datenmanagement, geleistet.

<u>Veranstaltungen auf Landesebene im Rahmen des Projektkontextes:</u>

- Teilnahme an einer Podiumsdiskussion im Rahmen des Thüringer Digitalfestivals im Juni 2021
- Präsentation am Informationsstand des Thüringer Digitalfestivals im Juni 2022
- Mitwirkung an einer Paneldiskussion anlässlich der Verleihung des Thüringer Digitalpreises im Juni 2023

Veranstaltungen auf Bundesebene im Rahmen des Projektkontextes:

- Vortrag im Rahmen des Online-Praxisseminars „Glasfaser- und Mobilfunkausbau im Jahr 2021“ im April 2021
- Interview mit dem IZMF – Informationszentrum Mobilfunk im April 2021
- Vortrag und Poster zum 5G-Vernetzungstreffen des BMDV in Kaiserslautern im Juni 2022
- Beteiligung an der Veranstaltung „Marktplatz der digitalen Möglichkeiten“ im Rahmen des Bundes-Digital-Gipfels in Jena im November 2023

6.2. Teilaufgabe 2: „Datenbroker“

Der SensiNact-Datenbroker, als zentrale technische Plattform des Projekts, wurde erfolgreich zur Erfassung und Verarbeitung von Echtzeitdaten verschiedener Verkehrsteilnehmenden wie dem ÖPNV, MIV, Fahrräder, E-Roller und Fußgängerinnen und Fußgänger implementiert. Die zentrale Rolle des Datenbrokers bestand darin, diese Daten zu sammeln, zu analysieren und sie für die Optimierung von Verkehrsflüssen und die Verbesserung der Sicherheit zur Verfügung zu stellen. Besonders hervorzuheben ist, dass der SensiNact-Datenbroker als Open-Source-Projekt etabliert wurde und künftig auch in anderen Städten zur Anwendung kommen soll. Der Datenbroker spielte zudem eine wichtige Rolle bei der Energie- und Lastflussoptimierung, indem er die Daten zur Lastprognose und Steuerung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge und Straßenbahnen verarbeitete. Dies war ein wesentlicher Bestandteil zur Vermeidung von Überlastungen im Stromnetz und trug zur Effizienzsteigerung der Energieversorgung bei.

Im Zusammenhang mit dem Betrieb und der Nutzung des SensiNact-Datenbrokers kamen die Kooperationspartner überein, diesen zum Senden, Empfangen, Verarbeiten und Speichern von ausschließlich nicht-personenbezogenen Daten einzusetzen. Diesem Zweck folgend wurde unter Federführung der Stadt Jena, in Abstimmung mit allen Kooperationspartnern und gemäß Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) eine Vereinbarung über die Erstellung, Betrieb und Nutzung des SensiNact-Datenbrokers formuliert. Im Sinne der Umsetzung dieser Vereinbarung trägt der jeweils dateneinspielende Kooperationspartner die Verantwortung dafür, dass diese Daten vollständig und in Einklang mit den Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) anonymisiert wurden, so dass sichergestellt ist, dass Personen nicht oder nicht mehr identifiziert werden können (vgl. Erwägungsgrund Nr. 26 DSGVO).

Die einzelnen Kooperationspartner werden durch das Senden von Daten an den Datenbroker in ihren Verfügungsrechten bzgl. der überlassenen Daten in keiner Weise beschränkt. Sie können insbesondere auch anderen Nutzenden entsprechende Nutzungsmöglichkeiten bzw. rollenbasierte Zugriffsrechte einräumen. Grundsätzlich gilt, dass alle an den Datenbroker gesendeten Daten für die Kooperationspartner in Echtzeit frei verfügbar und nutzbar sind.

Ein weiterer Aufgabenbereich lag in der Bereitstellung von Systemzugängen für alle Projektpartner zu relevanten technischen Infrastrukturen, einschließlich Ampelanlagen, Verkehrskameras, Straßenbahnsystemen sowie weiteren städtischen Einrichtungen. Zudem wurde ergänzende Detektionstechnik beschafft, um die Erfassungs- und Analysefähigkeit im Verkehrsraum zu erweitern. Dies förderte maßgeblich die technische Vernetzung und Interoperabilität und ermöglichte eine zukunftsfähige Integration aller Systemkomponenten.

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Data in Motion Consulting GmbH wurde die Architektur des Datenbrokers entwickelt. Die Basisarchitektur wurde dabei auf Grundlage eines modularen OSGi-Frameworks spezifiziert. Dabei kamen als zentrale Technologien Eclipse SensiNact sowie Eclipse EMF (**E**clipse **M**odeling **F**ramework) zum Einsatz, die als Grundlage für den Betrieb der Datenplattformsoftware festgelegt wurden. Zur Modellierung der Kernfunktionalitäten wurden standardisierte UML-Diagramme (**U**nified **M**odeling **L**anguage) auf Basis von EMF eingesetzt. Die Datenmodelle wurden entsprechend der funktionalen Anforderungen strukturiert und vollständig dokumentiert.

Im Rahmen des Projekts wurde eine gezielte Open-Source- und Open-Data-Strategie verfolgt, mit dem Ziel, eine überregionale bis internationale Sichtbarkeit in relevanten Fachgremien zu erreichen sowie die Standardisierung und Wiederverwendbarkeit der entwickelten Lösungen für zukünftige Projekte sicherzustellen.

Ein zentrales Element war die aktive Mitarbeit in der Eclipse OSGi Working Group, insbesondere im Bereich der Spezifikation technischer Standards. Hierbei wurde ein Beitrag zur Konzeption des EventBus-Standards geleistet. Zudem war das Projekt in der Smart City Working Group engagiert. Beide Gremien boten eine Plattform für den fachlichen Austausch sowie die strategische Weiterentwicklung quelloffener Infrastrukturlösungen im urbanen Kontext.

Alle entwickelten Softwarekomponenten wurden vollständig dokumentiert und im Open-Source-Repository auf GitHub sowie auf OpenCode.de veröffentlicht. Die Pflege und kontinuierliche Weiterentwicklung der Codebasis erfolgten unter Einhaltung anerkannter Open-Source-Prinzipien.

Die Vorstellung des Projekts in nationalen und internationalen Open-Source-Communities, etwa im Rahmen der EclipseCon 2023, diente der weiteren Verbreitung der Projektergebnisse und der aktiven Einbindung in bestehende Netzwerke.

6.3. Teilaufgabe 3: „Kooperative LSA“

Ein wesentlicher Erfolg des Projekts war die Entwicklung und Implementierung von kooperativen Lichtsignalanlagen (LSA), die den Verkehrsfluss in Echtzeit anpassten. Durch die Integration dieser intelligenten LSA in das Verkehrsnetz konnte eine signifikante Verbesserung der Verkehrssicherheit und -effizienz zeitweise erfolgreich

getestet werden. Die Herausforderung an den Testknoten „Am Volksbad“ und „Fischergasse“ bestand in der Steuerung einer multimodalen Verkehrssituation mit MIV, Straßenbahnen und Bussen des Nahverkehrs, Radfahrenden und Fußgängergruppen aus dem Bahnhofsbereich sowie dem Busbahnhof. Diese Technologie ermöglichte eine dynamische Steuerung der Ampelphasen, die sich an den tatsächlichen Verkehrsbedingungen orientierte. Dies führte zu einer Reduzierung der Wartezeiten und einer Optimierung des Verkehrsflusses, insbesondere während Stoßzeiten in der Testphase.
Die erfolgreiche Implementierung und die positiven Ergebnisse dieser LSA werden als bedeutende Innovation im Bereich der städtischen Verkehrsinfrastruktur gewertet und zeigen die Vorteile intelligenter Verkehrssysteme für städtische Infrastrukturen.
Zur zuverlässigen Erfassung von Verkehrsdaten sämtlicher Verkehrsteilnehmenden wurde in intelligente Kameratechnologie investiert. Die erfassten Daten werden in Echtzeit an den Datenbroker übermittelt und für die Steuerung der kooperativen LSA zur Verfügung gestellt.

6.4. Teilaufgabe 4: „Informative LSA“

Zusätzlich zu den kooperativen LSA wurden auch informative LSA entwickelt, die in Echtzeit Informationen zu den Verkehrsbedingungen und der nächsten Ampelphase an den SensiNact-Datenbroker lieferten. Diese Erweiterung ermöglichte es den Verkehrsteilnehmenden, besser auf die Verkehrslage zu reagieren, und erhöhte die Sicherheit, insbesondere für zu Fuß Gehende und Radfahrende.
Die Integration dieser LSA in das bestehende Verkehrsmanagementsystem stellte einen bedeutenden Schritt in Richtung einer intelligenten Stadt dar, die den Verkehr effizient und sicher steuert. Besonders hervorzuheben ist die Transparenz, die diesen Informationssystemen zugrunde liegt, und die Möglichkeit, diese Informationen auf vielfältige Weise für eine bessere Stadtplanung zu nutzen.

6.5. Durchführung und Aktivitäten

Ein wichtiger Aspekt war die Einrichtung und Integration der erforderlichen Hard- und Softwarekomponenten in das Gesamtsystem. Die Projektpartner wurden hierbei umfassend unterstützt – insbesondere bei der Beschaffung, Installation und Datenanbindung der für den Realtest notwendigen Hardware im Feld.

Die Testphase umfasste die Evaluation verschiedener Verfahren zur Datenextraktion unter Realbedingungen. Dabei lag ein Schwerpunkt auf der Sicherstellung niedriger Latenzzeiten, um die Echtzeitfähigkeit der Datenverarbeitung zu garantieren. Getestet wurden unter anderem folgende Datenquellen und Schnittstellen: BUS-Systeme, Serviceschnittstellen, Verkehrsrechner, Lichtsensoren und weitere sensorbasierte Komponenten.

Für die Implementierung dieser Schnittstellen unterstützte das Projekt die Partner durch die Bereitstellung und Beschaffung geeigneter technischer Lösungen.

Die Testphase führte zu einer signifikanten Erweiterung der ursprünglich definierten Zielsetzungen. Während das Projekt anfangs die Anreicherung eines Verkehrsmodells mit Echtzeitdaten verfolgte, konnten im Verlauf der Tests zusätzliche Datenquellen erschlossen und integriert werden. Dies führte zu einem tieferen Verständnis der technischen Anforderungen und Herausforderungen im Bereich der Datenextraktion.

Im Verlauf des Projekts wurden mehrere Ergebnisse erzielt:

Ergebnis	**Beschreibung**
Datenbroker	**Entwicklung des SensiNact-Datenbrokers als Open-Source-Lösung**: Aufbau einer skalierbaren technologischen Plattform zur Echtzeiterfassung, -verarbeitung und -nutzung urbaner Verkehrsdaten unterschiedlicher Quellen (z.B. Kameras, Lichtsignalanlagen, Sensordaten aus Fahrzeugen und Energiedaten); Etablierung als zentrale Plattform; Grundlage für interoperable Smart-City-Anwendungen
Kooperative Licht-signalanlage	**Erprobung der kooperativen Lichtsignalanlagen mit Reinforcement-Learning-Algorithmus zur Optimierung von Lichtsignalphasen:** KI-basierte Steuerung und Optimierung von Ampelschaltungen erfolgreich getestet, Verbesserung des Verkehrsflusses durch datengestützte Steuerung der Ampelphasen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Verkehrsteilnehmenden möglich, Reduzierung der Wartezeiten und Verbesserung der Verkehrssicherheit
Fahrer-assistenzsystem	**Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems für Straßenbahnen des Jenaer Nahverkehrs:** Einführung eines Fahrerassistenzsystems zur Anpassung von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen an Ampelanlagen, Nutzung von Fahrplandaten und Verkehrsinformationen, um Empfehlungen für eine energieeffiziente Fahrweise zu geben, Reduzierung des Energieverbrauch und Verbesserung der Fahrplanstabilität
Kollisions-vermeidung	**Entwicklung eines Systems zur Kollisionsvermeidung:** Frühzeitige Erkennung potenzieller Gefahrensituationen durch Integration von Videoanalytik und Verkehrsdaten z. B. an Kreuzungen mit eingeschränkter Sicht, erfolgreiche Demonstration der Warnmeldungen durch Kombination bildgebender Verfahren und LSA-Daten
Lastmanagement	**Entwicklung von stationärem und mobilen Lastmanagementsystemen für die Ladeinfrastruktur von E-Bussen:** Bedarfsorientierte Steuerung von Ladevorgängen zur Netzstabilisierung und Reduzierung von Lastspitzen im Stromnetz, Optimierung der Ladeinfrastruktur für E-Busse und Straßenbahnen

7. Kostenplanung

Die Kostenplanung wurde im vorgesehenen Rahmen eingehalten. Erforderliche Mittelverschiebungen zwischen den Kostenstellen blieben innerhalb der zulässigen Grenzen.

7.1. Personalkosten Kostenstellen 0812 und 0817

Die Projektlaufzeit wurde auf Antrag um 6 Monate verlängert. Das geplante Personalkostenbudget konnte durch Reduzierung der Stellenanteile der Mitarbeitenden eingehalten werden.

7.2. Gerätebeschaffung Kostenstellen 0831 und 0850

Die finanziellen Mittel wurden gezielt für die Beschaffung spezialisierter Detektionstechnik zur Erfassung und Erhebung von Verkehrsdaten eingesetzt. Im Verlauf des Projektes zeigte sich, dass die vorhandenen Infrastrukturdaten im Testgebiet nicht ausreichten, um den Verkehrsfluss detailliert und in Echtzeit abzubilden. Die erworbene Technik, insbesondere die AI-gesteuerten thermischen Verkehrssensoren, wurden an ausgewählten Verkehrsknotenpunkten auf der Teststrecke installiert und liefern weiterhin kontinuierliche Verkehrsdaten über den SensiNact-Datenbroker an die Abonnenten der entsprechenden Dienste.

Ein weiterer Fokus lag auf der Ausstattung der Steuergeräte ausgewählter Lichtsignalanlagen auf der Teststrecke mit Hardware zur Übermittlung von Informationen bspw. zu LSA-Phasen.

Ein Schwerpunkt lag in der Beschaffung der Technik für den Datenbroker. Server und zugehörige Hardwarekomponenten konnten für das Projekt aufgesetzt und damit als SensiNact-Datenbroker nutzbar gemacht werden. Eine wesentliche Voraussetzung für die Implementierung von Schnittstellen, deren Testung zum Datenaustausch und für die Verarbeitung von Daten aus unterschiedlichsten Quellen steht damit bereit.

7.3. Auftragsvergabe Kostenstelle 0835

Für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts war sowohl juristische als auch technische Expertise erforderlich. Beide Arten an Beratungsleistungen wurden als projektbegleitende Beratungsleistungen während der gesamten Realisierungsphase gemäß den Vorgaben aus dem Zuwendungsbescheid im Rahmen eines Vergabeverfahrens beschafft. Die Bezuschlagung der wirtschaftlichsten Angebote erfolgte zum 30.06.2021. Die juristische Beratung umfasste u. a. die Ausarbeitung und Verhandlung von Vereinbarungen und Verträgen (sowohl innerhalb des Projektverbundes, als auch außerhalb), die Beratung zu datenschutzrechtlichen sowie IT-rechtlichen Fragestellungen, die rechtliche Beratung zum Ausbau und die Einbindung von Glasfaser- und Mobilfunkinfrastrukturen bzw. zur Implementierung des 5G-Mobilfunkstandards im Testgebiet, ferner die Beratung der Stadtverwaltung hinsichtlich einzelner Rechtsfragen sowie die Vorbereitung und Teilnahme an Veranstaltungen. Es erfolgte hierbei eine enge Zusammenarbeit mit dem technischen Berater, der insbesondere durch eine Projektzeitplanung, Darstellung der

Arbeitsschritte und Meilensteine, weitere Analyse und Einbindung der Stakeholder (insbesondere der Mobilfunknetzbetreiber) sowie eine Ressourcenplanung, die Steuerung und Umsetzung des Projekts unterstützte. Die technische Beratung umfasste auch den fachlichen Support bei der Schaffung einer adäquaten Telekommunikationsinfrastruktur, bei Teststellungen und der praxisrelevanten Erprobung und Umsetzung der Teilprojekte bzw. der konkreten Anwendungsszenarien.

8. Voraussichtlicher Nutzen

Der voraussichtliche Nutzen des Projekts erstreckt sich über mehrere Bereiche:

- Verkehrsoptimierung und -sicherheit: Im Rahmen der Projektaktivitäten bzw. während der Abschlussdemonstration konnte testweise gezeigt werden, dass durch die intelligente Ampelsteuerung und die Vernetzung der Verkehrsteilnehmenden der Verkehrsfluss optimiert und die Verkehrssicherheit verbessert werden kann. Besonders im urbanen Raum, in dem viele verschiedene Verkehrsteilnehmende gleichzeitig unterwegs sind, können durch Echtzeitdaten fundierte Entscheidungen getroffen werden.
- Nachhaltigkeit und Energieeffizienz: Die Optimierung des Ladeverhaltens von E-Bussen und des Fahr- und Bremsverhaltens von Straßenbahnen trägt zur Effizienzsteigerung im öffentlichen Nahverkehr bei und reduziert gleichzeitig die Belastung des Stromnetzes. Die eingesparte Energie trägt zur CO_2-Reduktion und zur Nachhaltigkeit des Verkehrsnetzes bei.
- Verwertbarkeit: Die entwickelten Technologien und Systeme können in anderen Städten und Projekten nachgenutzt werden. Besonders der SensiNact-Datenbroker wird als Open-Source-Projekt weiterentwickelt und in anderen Städten weltweit eingesetzt.

8.1. Fortschritt auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Das Projekt hat nicht nur in Jena Fortschritte erzielt, sondern auch auf nationaler Ebene für Aufmerksamkeit gesorgt. Die Entwicklung des SensiNact-Datenbrokers als Open-Source-Projekt ist ein Schritt in Richtung einer globalen Vernetzung von Verkehrsdaten und -infrastruktur. In anderen Städten werden vergleichbare Technologien eingesetzt.

9. Erfolgskontrollbericht

- Förderpolitische Ziele: Das Projekt hat die Ziele des 5G-Innovationswettbewerbs erfolgreich umgesetzt, indem es innovative Technologien zur Verbesserung der urbanen Mobilität und zur Reduzierung der CO_2-Emissionen durch den Einsatz von 5G-Technologie realisiert hat.
- Wissenschaftlicher Erfolg: Die Integration von Echtzeitdaten in die Verkehrssteuerung und die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen stellen bedeutende wissenschaftliche und technische Leistungen dar. Besonders

hervorzuheben ist der Einsatz des Reinforcement Learnings zur Optimierung der Ampelphasen.

- Verwertbarkeit und Anschlussfähigkeit: Das Projekt zeigt großes Potenzial für die Verwertung der Ergebnisse in anderen Städten und wird weiterhin als Teil der Smart City-Initiative Jena genutzt. Es gibt bereits Pläne für eine Fortsetzung und Erweiterung der Technologien über das Ende der Projektlaufzeit hinaus.

10. Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses

Im Rahmen des Projekts „5G-basierte V2X-Vernetzung zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zur Optimierung des multimodalen Verkehrs und der Energieversorgung in Jena“ wurden mehrere Maßnahmen zur Veröffentlichung der Projektergebnisse ergriffen, sowohl während der Laufzeit als auch zur Sicherstellung einer nachhaltigen Verwertung und Weitergabe der Erkenntnisse. Diese umfassten wissenschaftliche Veröffentlichungen, Öffentlichkeitsarbeit sowie die kontinuierliche Dokumentation und Präsentation der Fortschritte auf verschiedenen Plattformen.

10.1. Wissenschaftliche Publikationen

- Artikel und Konferenzbeiträge:
  Die Projektergebnisse wurden auf verschiedenen wissenschaftlichen Konferenzen und in Fachzeitschriften präsentiert. Besonders hervorzuheben ist die Veröffentlichung eines wissenschaftlichen Artikels des Projektpartners, TU Dresden, über die Entwicklung und Implementierung von intelligenten Lichtsignalanlagen und Fahrerassistenzsystemen im Kontext von 5G- und V2X-Technologien. Dieser Artikel wurde in einem renommierten Fachjournal für Verkehrstelematik und Verkehrsmanagement veröffentlicht.
- Reinforcement Learning Algorithmus:
  Ein weiterer Konferenzbeitrag befasste sich mit der Entwicklung eines Reinforcement-Learning-Algorithmus zur Optimierung der Ampelphasen in Echtzeit. Dieser Algorithmus nutzt Daten aus Verkehrs- und Kamerasensoren und wurde auf mehreren internationalen Konferenzen zum Thema „Smart Cities“ und „Verkehrsautomatisierung“ vorgestellt.

10.2. Fachartikel und Bücher

- Buchbeitrag zu Smart Cities:
  Die Ergebnisse des Projekts wurden in einem Sammelband über „Intelligente und nachhaltige Städte“ dokumentiert, der im Mohr Siebeck Verlag Tübingen erschien. Dieser Artikel beschreibt die Jenaer Erfahrungen und die Anwendung von 5G in der städtischen Verkehrsinfrastruktur und dient als wertvolle Ressource für Fachleute im Bereich der Stadtentwicklung und Verkehrstelematik.

- Der WEKA Verlag hat einen ausführlichen Beitrag über das Jenaer 5G-Projekt in seiner Schriftenreihe „Verwaltungsmanagement & Kommunalpolitik“ im April 2022 veröffentlicht. Der Artikel „Digitale Transformation auf kommunaler Ebene – das Beispiel des Jenaer 5G-Modellprojekts zur Verkehrsvernetzung – ein Praxisbericht“ beschreibt die einzelnen Entwicklungsschritte des Projektes und dessen Einbettung in die Smart City-Strategie.
- Veröffentlichung eines Beitrags „Jena auf dem Weg zur smarten Stadt“ mit Vorstellung des Projektes 5G-Verkehrsvernetzung im Thüringer Staatsanzeiger Nr. 29/2022

10.3. Open-Source-Veröffentlichungen

- SensiNact-Datenbroker:
  Der SensiNact-Datenbroker, der im Projekt entwickelt wurde, ist ein Open-Source-Projekt und wird in Zusammenarbeit mit der Eclipse Foundation als Teil der globalen Aktivitäten zur Entwicklung von urbanen Datenplattformen veröffentlicht. Diese Veröffentlichung wird auch auf internationalen Plattformen und in Fachgemeinschaften zitiert, um die Nutzung der entwickelten Technologien in anderen Städten zu fördern und die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Smart City-Entwicklung zu stärken.

10.4. Präsentationen

- Internationaler Austausch:
  Auf verschiedenen internationalen Konferenzen, wie der Smart City Expo in Barcelona und der IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, wurden die Ergebnisse des Projekts präsentiert. Dabei wurde insbesondere die Integration von 5G-Technologien in städtische Verkehrsinfrastrukturen und die Nutzung von V2X-Kommunikation zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und -effizienz hervorgehoben.
- Im Rahmen eines Interviews mit dem Informationszentrum Mobilfunk wurde das Projekt vorgestellt und dessen Inhalte näher erläutert. Darüber hinaus wurden die Projekterfolge in einem „5G-Roadmovie“ beleuchtet - eine 45-minütige Dokumentation, die acht herausragende 5G-Projekte aus ganz Deutschland und deren spezifische Anwendungsfälle porträtiert.
- Das 5G-Projekt wurde ebenfalls im Online-Magazin der Dialoginitiative des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr „Deutschland spricht über 5G“ vorgestellt. Die Anwendung von 5G-fähigen SIM-Karten und Datensticks zur Übertragung von Datenpaketen im Teilprojekt Last- und Energiemanagement wird zudem in einem Video und einem Podcast der Deutschen Telekom anschaulich erläutert.

10.5. Öffentlichkeitsarbeit und Berichterstattung

- Regelmäßige Updates auf der Smart City Website Jena:
  Die eigene Projektseite auf der städtischen Smart City-Plattform wird kontinuierlich aktualisiert, um den Bürgern und Interessierten die neuesten

Fortschritte und Ergebnisse zugänglich zu machen. Hier werden nicht nur die technischen Details, sondern auch die praktischen Auswirkungen der neuen Technologien auf das tägliche Leben der Jenaer Bürger erläutert.

- Eine weitere regelmäßige Dokumentation des Projektfortschrittes erfolgte über das Berichtswesen der Stadtverwaltung. Tertialsberichte und Stadtratsvorlagen während der Projektlaufzeit spiegelten den Projektstand sowie Teilergebnisse wider und ermöglichten der Stadtgesellschaft, sich kontinuierlich zu informieren.

Die Veröffentlichung der Projektergebnisse wird sowohl durch wissenschaftliche Publikationen als auch durch die Bereitstellung von Open-Source-Software und öffentlich zugängliche Berichte sichergestellt. Die Wissenschaftsgemeinschaft, die lokale Bevölkerung und die internationale Fachwelt profitieren von den entwickelten Lösungen, die durch verschiedene Plattformen und Veranstaltungen weiterverbreitet werden. Diese umfassende Veröffentlichungsstrategie trägt dazu bei, die Erkenntnisse aus dem Projekt über die Laufzeit hinaus zu nutzen und die Entwicklung von Smart-City-Initiativen weltweit zu fördern.

11. Ausblick

Die Stadt Jena bekennt sich zur nachhaltigen Fortführung der im Projekt erzielten Erfolge und zur weiteren Nutzung der erarbeiteten Ergebnisse im Kontext ihrer Smart-City-Aktivitäten. Die zentralen Ziele und Absichten sind in einem Letter of Intent festgehalten.

Mit Einrichtung der Stelle „Smart City Beauftragte“ in der Verwaltung wurde die Grundlage geschaffen, die Themen Verkehrsvernetzung und -optimierung langfristig und strukturiert weiterzuverfolgen. Ziel ist es, ausgewählte Projektergebnisse schrittweise in den Regelbetrieb zu überführen. Hierfür wäre es aus kommunaler Perspektive wünschenswert, wenn die Verstetigung der im 5G-Innovationsprogramm erzielten Projektergebnisse und -erfolge durch anschlussfähige Förderinstrumente des Bundes nachhaltig unterstützt würden.

Förderprojekt 165GU009A
„5G-basierte V2X-Vernetzung zur Steigerung der Verkehrssicherheit sowie zur Optimierung des multimodalen Verkehrs und der Energieversorgung in Jena“
„Jena 5G_V2X“

Die Stadt Jena hat als Vorreiterin im Bereich Smart Cities das 5G-basierte V2X-Projekt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie zur Optimierung des multimodalen Verkehrs und der Energieversorgung umgesetzt. Dieses Vorhaben wurde durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr mit 3,9 Millionen Euro gefördert und in enger Zusammenarbeit mit lokalen Unternehmen, KMU, wissenschaftlichen Einrichtungen sowie Mobilfunkbetreibern realisiert.

Aufgabenstellung
Ziel des Projekts war es, durch den Einsatz der 5G-Technologie, der C-V2X-Kommunikation und intelligenten Infrastrukturen die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden, insbesondere für Fußgängerinnen und Fußgänger sowie Radfahrende, ebenso wie die Leistungsfähigkeit des Verkehrsnetzes nachhaltig zu verbessern. Gleichzeitig sollte die Energieversorgung für den öffentlichen Nahverkehr, insbesondere für E-Busse und Straßenbahnen, optimiert werden.

Voraussetzungen
Der vorgezogene flächendeckende 5G-Rollout in Jena, in enger Abstimmung mit den assoziierten Projektpartnern Telekom und Vodafone realisiert, bildete eine der entscheidenden Grundlage für die Umsetzung des geplanten Projekts. Die **Stadt Jena** wirkte dabei als Konsortialführerin und arbeitete eng mit den beteiligten Unternehmen (Data in Motion, INAVET), Forschungseinrichtungen (TU Dresden, Hochschule Mittweida) und städtischen Unternehmen (Stadtwerke Jena Netze, Jenaer Nahverkehr) zusammen.

Planung und Ablauf
Das ursprünglich für 2021–2023 ausgelegte Projekt wurde kostenneutral bis Juni 2024 verlängert. Alle Tätigkeiten wurden in enger Abstimmung mit den Partnern umgesetzt. Dazu gehörten das Einrichten einer zentralen Datenplattform (SensiNact Datenbroker), das Erstellen von Spezifikationen für die technischen Lösungen, das Sicherstellen einer lückenlosen Datenerfassung sowie das Erproben neuer Verfahren unter Realbedingungen.

Erzielte Ergebnisse
Im Verlauf des Projekts wurden mehrere Ergebnisse erzielt:

- Der **SensiNact Datenbroker** erfasst und analysiert Echtzeitverkehrs-, Betriebs- und Energiedaten aus unterschiedlichen Quellen (z.B. Lichtsignalanlagen, Verkehrskameras, Fahrzeugdaten des ÖPNV) und stellt die Ergebnisse für die Optimierung von Verkehrsflüssen und die Verbesserung der Sicherheit zur Verfügung.

Im Sinne der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) wurde unter Federführung der Stadt Jena und unter Zuarbeit und in Abstimmung mit allen Kooperationspartnern eine Datenbrokervereinbarung formuliert, die das Senden, Empfangen, Verarbeiten und Speichern von ausschließlich nicht-personenbezogenen Daten sicherstellt.

- Die **Kooperative Lichtsignalanlage** passt die Steuerung in Echtzeit an das Verkehrsaufkommen an, verringert Wartezeiten und erhöht die Sicherheit für alle Arten von Verkehrsteilnehmenden.
- **Informative Lichtsignalanlage**: Zusätzlich zur kooperativen Lichtsignalanlage wurde auch die informative LSA entwickelt, die den Verkehrsteilnehmenden in Echtzeit Informationen zu den Verkehrsbedingungen und der nächsten Ampelphase anzeigt.
- Das **Fahrerassistenzsystem für den ÖPNV** greift auf Fahrplandaten und Verkehrsinformationen zu, um Empfehlungen für eine energieeffiziente Fahrweise zu geben, was den Energieverbrauch reduziert und die Fahrplanstabilität verbessert.
- Das System zur **Kollisionsvermeidung** erkennt Gefährdungen für Radfahrende und warnt diese rechtzeitig.
- **Lastmanagement**: Stationäre und mobile Lastmanagementsysteme wurden entwickelt, um die Ladeinfrastruktur für E-Busse und das Anfahrverhalten von Straßenbahnen zu optimieren, Überlastungen im Stromnetz zu verhindern und die Ressourcennutzung zu verbessern.

Nutzen
Der voraussichtliche Nutzen des Projekts erstreckt sich über mehrere Bereiche:

- **Verkehrsoptimierung**: Sicherere, flüssigere und umweltfreundlichere Mobilität
- **Nachhaltigkeit und Energieeffizienz**: Reduzierung der Belastungen des Stromnetzes und somit auch von CO_2-Emissionen im Nahverkehr.
- **Verwertbarkeit**: Die entwickelten Technologien und Systeme sind für andere Städten und Projekte gut nachnutzbar. Besonders der SensiNact-Datenbroker wird als Open-Source-Projekt weiterentwickelt und weltweit eingesetzt.

Zusammenarbeit
Die Zusammenarbeit mit lokalen Unternehmen und KMU, mit Forschungseinrichtungen sowie mit Mobilfunkbetreibern und deren Infrastrukturgesellschaften hat entscheidend zum Erfolg des Vorhabens beigetragen. Auch die Gremienvernetzung auf internationaler Ebene (z.B. Eclipse, OSGi Working Group) wurde und wird durch das Projekt vorangetrieben.

Verbreitung
Die Projektergebnisse wurden auf verschiedenen, auch internationalen Konferenzen und in Fachartikeln, im Rahmen des Bundes-Digitalgipfels in Jena, in lokalen und zahlreichen digitalen Medien und Formaten (Podcasts, Filmbeiträge) präsentiert.