SOLP
SMART OPTIMIZED
LORRY PARKING

Verbundprojekt Smart Optimized Lorry Parking

Gemeinsamer Abschlussbericht

Laufzeit: 01.12.2021-30.11.2024 / 31.05.2025

Berichtsszeit: 01.12.2021 – 31.05.2025

(Förderkennzeichen: 01F2204A (BLUE Consult GmbH), 01F2204B (Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut), 01F2204C (KRAVAG und SVG Assekuranz Service GmbH))

SOLP-Konsortium, 26.11.2025

Konsortium
Smart Optimized Lorry Parking

BLUE CONSULT GmbH
Adolf-Dembach-Str. 2
D-47829 Krefeld

Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik
Heinrich-Hertz-Institut
Einsteinufer 37
10587 Berlin

KRAVAG und SVG
Assekuranz Service GmbH
Lister Kirchweg 95
30177 Hannover

Inhalt

Abbildungsverzeichnis 3

Tabellenverzeichnis 3

Abkürzungsverzeichnis 4

1 Kurzdarstellung 6

1.1 Aufgabenstellung 6

1.2 Voraussetzungen 8

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 9

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn 11

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 12

2 Eingehende Darstellung 13

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele 13

2.1.1 Arbeitspaket 1: Projektmanagement, Anforderungsanalyse & Lösungsarchitektur, Dissemination 13

2.1.2 Arbeitspaket 2: Ermittlung der Parkplatzbelegung 36

2.1.3 Arbeitspaket 3: Datenakquise, Datenintegration und Datenbereitstellung 38

2.1.4 Arbeitspaket 4: Datenanalyse 40

2.1.5 Arbeitspaket 5: Prototypische Realisierung der SOLP-Plattform und Dienste 43

2.1.6 Arbeitspaket 6: Pilotierung, Optimierung & Evaluierung 45

2.1.7 Arbeitspaket 7: Datenmanagement & Daten(schutz)recht 49

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 52

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 52

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans 53

2.4.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen 53

2.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten 53

2.4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten 55

2.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 56

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 57

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse 58

Literaturverzeichnis 59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Smart Optimized Lorry Parking in a nutshell 7

Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf des Projekts SOLP inklusive der Meilensteine unter Berücksichtigung der Laufzeitverlängerung 14

Abbildung 3: Meilenstein 1 - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil 15

Abbildung 4: Meilenstein 2 - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil 15

Abbildung 5: Meilenstein 3 - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil 15

Abbildung 6: Meilenstein 4 Projektabschluss - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil 16

Abbildung 8: Lösungsarchitektur der SOLP-Plattform und Dienste 25

Abbildung 9: Business Model Canvas nach Osterwalder, Pigneur 28

Abbildung 10: SOLP-Geschäftsmodell für die Kundengruppe der Telematiksystem-Anbieter 34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lkw-Parklösungen: Profile von Alternativangeboten zu SOLP zur Unterstützung des Lkw-Parkens 23

Tabelle 2: SOLP im Vergleich zu Alternativangeboten zur Unterstützung des Lkw-Parkens 24

Tabelle 3: Sichtung und Bewertung möglicher Datenquellen für SOLP zu Projektbeginn 27

Tabelle 4: Veranstaltungen und Messen mit der Teilnahme oder Präsentation von SOLP 36

Tabelle 5: Roadmap für die Markteinführung von SOLP 47

Tabelle 6: KPI-Rahmen für die Markteinführung von SOLP 48

Tabelle 7: Risiken mit Blick auf die Entwicklung von SOLP zur Marktreife 48

Tabelle 8: Anfrage- und Anonymisierungsprozess von SOLP 49

Tabelle 9: Datenquellen und Datenkategorien, die von SOLP genutzt werden 50

Tabelle 10: Überblick über technische und organisatorische Maßnahmen von SOLP für Datenschutz und -sicherheit 51

Abkürzungsverzeichnis

ACE = Auto Club Europa e. V.
AES = Advanced Encryption Standard
AOI = Area of Interest
API = Application Programming Interface
APPI = Act on the Protection of Personal Information
BASt = Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
BGL = Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung e.V.
BLUE = BLUE Consult GmbH
BKG = Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMC = Business Model Canvas
BMDV = Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMV = Bundesministerium für Verkehr
BMVI = Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CAGR = Compound Annual Growth Rate
CPU = Central Processing Unit
CCPA = California Consumer Privacy Act
DNN = Deep Neural Networks
DSFA = Datenschutz-Folgenabschätzung
DSGVO = Datenschutz-Grundverordnung
DVR = Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V.
ESPORG = European Secure Parking Organisation
ETA = Estimated Time of Arrival
FHHI = Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut
GNN = Graph Neural Networks
GPU = Graphics Processing Unit
ITP = Intelligent Truck Parking
ITS = Intelligent Transport System
JTBD = Jobs To Be Done
JWT = JSON Web Token
KRAVAG = KRAVAG und SVG Service Assekuranz Service GmbH
LBM = Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz
MDM = Mobilitäts Daten Marktplatz (heute: Mobilithek)
mFUND = Modernitätsfonds
ML = Machine Learning
NDW = Nationaal Dataportaal Wegverkeer
NFS = Network File System
NPS = Net Promoter Score
OEM = Original Equipment Manufacturer
OSM = OpenStreetMap
OWASP = Open Web Application Security Project
PoC = Proof of Concept
rFMS = remote Fleet Management System)

SID = Stellplatzinformationsdienst
SKD = Satellitengestützter Krisen- und Lagedienst
SOLP = Smart Optimized Lorry Parking
SUS = System Usability Scale
SVG = Bundes-Zentralgenossenschaft Straßenverkehr eG
TLS = Transport Layer Security
UUID = Universally Unique Identifier
UrhG = Urheberrechtsgesetz
VDA = Verband der Automobilindustrie e. V.
VEDA = Vereinigung Deutscher Autohöfe e. V.
VM = Virtual Machine
WAF = Web Application Firewall

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des **Forschungsprojekts „Smart Optimized Lorry Parking (SOLP)“** war die **Erforschung und Entwicklung eines KI-basierten Empfehlungssystems für Lkw-Parkplätze** entlang der gefahrenen Routen. Auslöser des Projekts war und ist der **eklatante Mangel an Lkw-Stellplätzen** auf Parkplätzen entlang der Hauptstrecken des Straßengüterverkehrs, der nicht nur Deutschland, sondern auch andere europäische Länder betrifft.

Laut einer Studie der European Secure Parking Organisation (ESPORG) fehlen in der EU derzeit rund 390.000 zertifizierte Lkw-Stellplätze. Bis zum Jahr 2040 könnte sich diese Lücke auf rund 483.000 Plätze vergrößern. Besonders betroffen sind Deutschland, Frankreich, die Benelux-Staaten, Spanien und Italien. (Haus 2025)

In Deutschland fehlen einer aktuellen Erhebung des Bundesamts für Straßenwesen (BASt) zufolge täglich rund 20.000 Lkw-Stellplätze an und neben Bundesautobahnen (Schmitt 2024, S. 4 ff.). Der Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung (BGL) e. V. schätzt den täglichen Fehlbestand sogar auf über 40.000 Lkw-Stellplätze (BGL 2023, S. 1). Angesichts des vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr im Jahr 2024 prognostizierten Anstiegs des Straßengüterverkehrs (BMDV 2024) wird die Nachfrage nach Lkw-Stellplätzen weiter zunehmen und die Stellplatzproblematik noch an Dramatik gewinnen.

Verschärfend kommt hinzu, dass die **vorhandenen Parkflächen** aufgrund fehlender Transparenz **nicht optimal genutzt** werden. So kommt es, dass einzelne Parkplätze in den Abend- und Nachtstunden eine Auslastung der Lkw-Stellplatzkapazitäten von über 400 % aufweisen (ACE Auto Club Europa e.V. 2025, S. 7), während andere auch benachbarte Parkplätze eine deutlich geringere Auslastung nahe oder unter der Durchschnittsbelegung von 124 % aufweisen (Schmitt 2024, S. 4 ff.).

Die Folgen und die daraus für die insgesamt Betroffenen **entstehenden Schäden** sind **erheblich**:

- **Berufskraftfahrer:**
  erheblicher Stress bei der Stellplatzsuche zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Lenk- und Arbeitszeiten, Gesundheitsschäden und schlechte Arbeitsbedingungen
- **Transportunternehmen:**
  unnötige Kosten durch lange Parksuchfahrten, unzufriedene Kunden durch nicht eingehaltene Lieferzeiten, Bußgelder wegen Lenkzeitüberschreitungen
- **Parkraumbetreiber:**
  chaotische Zustände auf öffentlichen Rastanlagen durch das Überparken durch Lkw, Umsatzeinbußen auf bewirtschafteten Rastanlagen durch weniger Pkw-Kunden, wenn Lkw die Pkw-Parkplätze besetzen
- **Alle Verkehrsteilnehmer:**
  Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch verkehrswidriges und gefährliches Lkw-Parken
- **Versicherungsunternehmen:**
  erhebliche Schäden im stehenden Verkehr (z. B. Ladungsdiebstähle, Planenschlitzen) und Unfälle zum Teil auch mit Personenschäden und Todesfällen
- **Gesamtwirtschaft:**
  ökonomischer Schaden durch Ineffizienzen in den Transportketten
- **Gesellschaft:**
  Umweltbelastung durch unnötigen Energieverbrauch und CO_2-Ausstoß, hohe Kosten für Einsätze der Polizei und von Rettungskräften bei Unfällen

Vor diesem Hintergrund verfolgt SOLP das Ziel, unter **Verwendung vorhandener Daten und bestehender Infrastrukturen** eine KI-basierte, digitale Lösung zu entwickeln, die schnell umgesetzt und in den Einsatz gebracht werden kann. Die Lösung soll dazu dienen, die insgesamt vorhandenen Parkflächen optimal zu nutzen, indem Lkw-Fahrer bei der alltäglichen Stellplatzsuche mit Echtzeitinformationen über freie Stellplätze unterstützt werden und Disponenten von Transportlogistikunternehmen eine Grundlage für eine effizientere Transportplanung unter Berücksichtigung von Lenkzeiten und geeigneten Parkmöglichkeiten bereitgestellt wird.

Das SOLP-Empfehlungssystem ermittelt nicht „nur“ die aktuelle Auslastung der betrachteten Parkflächen, sondern berechnet auf Basis von **Prognosealgorithmen unter Verwendung von Zeitreihenanalysen und Machine Learning-Methoden** auch die Wahrscheinlichkeit, dass auf einer definierten Parkfläche ein Lkw-Stellplatz zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft verfügbar sein wird – beispielsweise in 15, 30, 45 oder 60 Minuten. Im Unterschied zu statischen Ansätzen **ermittelt SOLP die Belegungsprognosen dynamisch** aus der Interdependenz von Standortfaktoren, Zeitparametern, Verkehrsaufkommen, Parkraumverfügbarkeit und gesetzlichen Vorgaben – und das in Echtzeit.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über das Gesamtvorhaben und die Entwicklungsreise von SOLP.

Abbildung 1: Smart Optimized Lorry Parking in a nutshell

Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass KI-basierte Prognosen zur Verfügbarkeit von Lkw-Stellplätzen technisch mit hoher Prognosegüte möglich sind und bedarfsgerecht nutzbar gemacht werden können. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für den erfolgreichen Übergang von der Forschung in den produktiven Betrieb und perspektivisch für eine europaweite Einführung. Damit leistet SOLP einen Beitrag zu mehr Verkehrssicherheit, besseren Arbeitsbedingungen für Lkw-Fahrer, höherer Effizienz im Güterverkehr und geringeren CO_2-Emissionen.

1.2 Voraussetzungen

Die Projektskizze SOLP wurde in der **Förderlinie 2, Kategorie B.2 „Datenbezogene Vorhaben für innovative und nachhaltige Verkehrskonzepte“ des mFUND,** eingereicht. Das Projekt soll nicht nur bereits vorhandene Daten nutzen, sondern auch dynamisch aktualisierte Telematik-, Maut-, Verkehrs- und Parkraumbelegungsdaten erfassen und mithilfe innovativer KI-Methoden in Echtzeit miteinander verknüpfen. Das Ergebnis ist eine Prognose über den Belegungsstatus von Lkw-Stellplätzen auf Parkplätzen an Autobahnen. Im Rahmen des Projekts orientierte sich SOLP am deutschen Bezugsraum, ist aber für den europäischen und weltweiten Einsatz skalierbar.

Der Aufbau des Konsortiums entsprach genau der in der damaligen Ausschreibung genannten Konstellation. Es verfügte über alle Kompetenzen, um das Verbundvorhaben SOLP zum Erfolg zu führen.

Als Technologiepartner in diesem Verbundprojekt brachte die **BLUE Consult GmbH (BLUE)** eine langjährige Erfahrung und umfassende Expertise in den Bereichen IT-Projektmanagement, Softwareentwicklung sowie Konzeption und Betrieb von Cloud-Lösungen ein. Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeit lag im Projektmanagement, in der fachlichen und technischen Beratung, der Gesamtkonzeption, der Datenbereitstellung, dem Service-Design sowie der Umsetzung der SOLP-Plattform und Dienste (u. a. API, Apps) inklusive Pilotierung, Test und Dokumentation.

Das **Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut (FHHI)** ist eines der Fraunhofer – Institute mit Sitz in Berlin. Das Vorhaben wurde von Mitarbeitern der Abteilung „Künstliche Intelligenz“ bearbeitet. Der Schwerpunkt der Arbeiten des FHHI im Verbundvorhaben SOLP lag in der Akquise und Speicherung von Daten sowie in der Erforschung, Entwicklung und Implementierung von KI-basierten Verfahren zur Prognose der Belegung von Parkplätzen an Autobahnen.

Die **KRAVAG-Versicherungsgruppe (KRAVAG**; im Konsortium vertreten durch die KRAVAG und SVG Assekuranz Service GmbH, Hannover) ist die führende Versicherungsgruppe für das Straßenverkehrsgewerbe. Über die Webplattform KRAVAG-Online stellt sie eine Reihe von digitalen Services für Unternehmen bereit. Neben dem kompletten Risikoschutz für Fuhrpark, Ladung und Betrieb sowie der Absicherung multimodaler Transporte und speditionsunüblicher Leistungen umfasst das Angebot auch den „digitalen Führerschein“ und die Online-Plattform „Wedolo“ für Logistiker. Die KRAVAG hat ihre Erfahrungen aus über 50 Jahren sicherem IT-Betrieb aktuell auf Basis der VAIT (Versicherungsaufsichtliche Anforderungen an die IT) in das Projekt eingebracht. Daneben wurden die Erfahrungen aus den Projekten zur weiteren Digitalisierung der Logistik „Wedolo” und „KRAVAG Truck Parking” genutzt.

SOLP verwendet eine Vielzahl unterschiedlicher Daten. Dazu zählen, wie bereits erwähnt, Telematik-, Maut- und Belegungsdaten. Darüber hinaus greift SOLP auf Verkehrsflussdaten des MDM (heute Mobilithek) zu. Hier bieten verschiedene Institutionen wie die BASt oder die Autobahn GmbH des Bundes zeitlich fein aufgelöste, aktuelle Daten zum Verkehrsfluss an.

Neben der Prognostik über den Belegungsstatus von Lkw-Stellplätzen ergeben sich mit den in der Mobilithek bereitgestellten Daten weitere Nutzungsmöglichkeiten, beispielsweise für die Berechnung zielgerichteter Investitionen bzw. der Auswirkungen von Steuerungsmaßnahmen. So kann der Mitteleinsatz für Parkräume optimiert, Veränderungen simuliert und stimulierende Maßnahmen eingeschätzt werden.

Frei verfügbare Parkplatz-Maps zeigen die Koordinaten öffentlicher und privat verwalteter Parkplätze an. OpenStreetMap (OSM) bietet freie Landkarten mit Geodaten von Parkplätzen an. Institutionen wie z. B. der Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM) oder der Internetdienst für Verkehrsinformation der Bayerischen Straßenbauverwaltung bieten Portale an, in denen der aktuelle Belegungsgrad ausgewählter Lkw-Parkplätze angezeigt wird.

Alle genannten Daten wurden entweder von den SOLP-Partnern ins Vorhaben eingebracht oder sind als Open Data verfügbar. Somit war **bereits zu Beginn ein großer und exzellenter Datengrundstock vorhanden**, der allerdings im Projekt selektiv und gewichtet einbezogen wurde. Die Daten der mCloud (später Mobilithek) dienten in diesem Zusammenhang sowohl als Datenquelle als auch als Basis für die Weitergabe der Informationen an nutzende Systeme.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das **Verbundvorhaben „Smart Optimzed Lorry Parking“** wurde im Rahmen der **Förderrichtlinie Modernitätsfond („mFUND“)** durch das **BMDV Bundesministerium für Digitales und Verkehr** gefördert. Das Projekt war ursprünglich für die Laufzeit vom 01.12.2021 bis zum 30.11.2024 bewilligt worden. Aufgrund der Datenlage wurde die Laufzeit des Projekts kostenneutral um sechs Monate bis zum 31.05.2025 verlängert.

SOLP wurde aufgeteilt in sieben Arbeitspakete geplant:

- Arbeitspaket 1: Projektmanagement, Anforderungsanalyse & Lösungsarchitektur, Dissemination
- Arbeitspaket 2: Ermittlung der Parkplatzbelegung
- Arbeitspaket 3: Datenakquise, Datenintegration und Datenbereitstellung
- Arbeitspaket 4: Datenanalyse
- Arbeitspaket 5: Prototypische Entwicklung der SOLP-Plattform und Dienste
- Arbeitspaket 6: Pilotierung, Evaluierung & Optimierung
- Arbeitspaket 7: Datenmanagement und Daten(schutz)-recht

Die Bearbeitung der Arbeitspakete und die dabei erzielten wesentlichen Projektfortschritte bzw. -ergebnisse können wie folgt beschrieben werden:

Ablauf Arbeitspaket 1

Das Arbeitspaket 1 wurde projektbegleitend in der Hauptverantwortung der BLUE umgesetzt. Mit den Tätigkeiten im Projektmanagement wurde der Rahmen für eine zielgerichtete und effiziente Projektarbeit, das Controlling des Projektfortschritts sowie den ordnungsgemäßen Projektabschluss geschaffen.

Zu Projektbeginn wurde mit der Anforderungs- und Marktanalyse die Grundlage für eine praxistaugliche und marktgerechte Lösung geschaffen. Durch Interviews, Online-Befragungen und Workshops wurden die potenziellen Endanwender und Stakeholder intensiv in die Entwicklungsarbeit mit eingebunden.

Das Kernergebnis der Anforderungsanalyse war, dass die Endanwender eindeutig die Nutzung der Prognoseinformationen über freie Lkw-Stellplätze über die bereits vorhandenen und erprobten Anwendungssysteme, wie beispielsweise Telematik- und Transportmanagementsysteme, bevorzugen, anstatt eine separate mobile App oder Desktop-Anwendung bedienen zu müssen. Über die Marktanalyse wurde die Positionierung gegenüber bereits verfügbaren Alternativ-angeboten geprüft und das Anforderungs- und Leistungsprofil der angestrebten Lösung weiter geschärft. Eine wichtige Erkenntnis war zunächst, dass es auf dem Markt bislang kein alternativen digitalen Dienst mit einer dynamischen Prognose in Echtzeit gibt. Damit wurden der Bedarf für den geplanten SOLP-Dienst und wesentliche Ausgangshypothesen aus der Antragsphase des Projekts bestätigt.

Auf dieser strategischen Basis wurde die Zielarchitektur der SOLP-Lösung entwickelt. Sie liefert einen modular aufgebauten, API-basierten Datendienst, der die Integrationsfähigkeit in bestehende Anwendungen, Interoperabilität, Erweiterbarkeit und auch die Anschlussfähigkeit an bestehende Logistikplattformen gewährleistet.

Die Komplexität der Aufgabenstellung des Projekts machte es erforderlich, entlang des Projektverlaufs gestützt durch die Aktivitäten in der Dissemination ein umfangreiches Ökosystem an Partnern und Unterstützern aufzubauen. Neben den Konsortialpartnern wurden zahlreiche Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik eingebunden. Mithilfe dieses Netzwerks wurden Geschäftsmodellszenarien entwickelt, die das wirtschaftliche Potenzial von SOLP nach Projektende verdeutlicht haben. Diese Szenarien belegen, dass der SOLP-Dienst über die Forschung hinaus tragfähig ist und sich als marktgerechtes Angebot etablieren lässt.

Ablauf der Arbeitspakete 2 bis 4

Das Arbeitspaket 2 bis 4 wurde in der Hauptverantwortung des FHHI umgesetzt.

Für die Entwicklung der KI-Modelle galt es zunächst eine tragfähige Basis relevanter Daten zu schaffen. Zu diesem Zweck wurden Daten verschiedenster Art aus unterschiedlichen Quellen auf Eignung und Verfügbarkeit geprüft und bewertet. Die relevanten Daten wurden erfasst, laufend aktualisiert bzw. ergänzt, für die Modellierung aufbereitet und bereitgestellt.

Eine zentrale Besonderheit von SOLP ist der Einsatz dynamischer KI-Modelle auf Basis innovativer Methoden des Machine Learnings. Der gewählte Modellierungsansatz erlaubte es, die räumlichen und zeitlichen Zusammen-hänge zwischen den Parkflächen, den Verkehrsströmen und den aktuellen Belegungsdaten abzubilden. Damit wurde erstmals eine Prognosearchitektur geschaffen, die nicht auf isolierte Datenpunkte setzt, sondern Netzwerkeffekte im gesamten Verkehrsgeschehen in ihrer Dynamik berücksichtigt.

Die KI-Modelle wurden in mehreren Iterationen trainiert, evaluiert und in die technische Zielarchitektur integriert. Die ersten Ergebnisse erreichten eine Prognosegenauigkeit von über 80 % im Zwei-Stunden-Prognosehorizont und belegen damit die Praxistauglichkeit des gewählten Ansatzes.

Ablauf des Arbeitspakts 5

Das Arbeitspaket 5 wurde in der Hauptverantwortung der BLUE umgesetzt.

Um die KI-Modelle für reale Anwendungen nutzbar zu machen, wurde eine skalierbare Technologie-Plattform in der Cloud auf Basis einer Microservice-Architektur aufgebaut, die über APIs Prognosen in Echtzeit bereit-stellt. Im Rahmen eines technischen Proof of Concept (PoC) wurde die entworfene Zielarchitektur mit einem Demonstrator, der Belegungsinformationen und Prognosen visualisierte, bestätigt und in den laufenden Betrieb genommen.

Ablauf des Arbeitspakts 6

Das Arbeitspaket 6 wurde in der Hauptverantwortung der KRAVAG umgesetzt.

Besonders wichtig war die Pilotierung unter realen Bedingungen. Im April 2024 gelang die Integration des SOLP-Dienstes in die Logistikplattform Wedolo. Dort wurden die Prognosen erstmals realen Fahrern und Disponenten zugänglich gemacht. Über Wedolo konnten über 1.000 Rastanlagen mit Belegungstrends sowie Ausstattungs- und Serviceprofilen abgerufen werden. Die Praxiserprobung bestätigte die technische Stabilität, die Integrationsfähigkeit und die Akzeptanz der Lösung.

Ablauf des Arbeitspakts 7

Das Arbeitspaket 7 wurde ebenfalls in der Hauptverantwortung der KRAVAG umgesetzt.

Das Arbeitspaket befasste sich mit rechtlichen Fragen auch und insbesondere mit Fragen der Datensicherheit. Die Erfassung, Verarbeitung und Auslieferung der Daten für SOLP erfolgt insgesamt im Einklang mit der Datenschutzgrundverordnung. Für die externen Zugriff aus dem Internet wurden mehrstufige Absicherungs-mechanismen eingerichtet. Damit ist ein sicherer und ein gemäß den rechtlichen Anforderungen ordnungsgemäßer Betrieb der SOLP-Plattform und Dienste sichergestellt.

Über Schnittstellen zur Mobilithek des Bundes, werden SOLP-Prognosedaten als Open Data veröffentlicht.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Projekte mit ähnlicher Zielsetzung wie SOLP

Ein Ansatz, der ähnlich wie SOLP die Lkw-Parkproblematik über KI-gestützte Verfahren im Verlauf der Routenplanung behandelt, war zu Projektbeginn ein vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aus dem mFUND gefördertes Projekt „ITP“. Das ITP-Akronym bezeichnet die angestrebte Problemlösung, wie im transeuropean Concept easyway, aus 2012, mit „Intelligent Truck Parking“.

Ein Vergleich in der Anfangsphase des Verbundvorhabens SOLP zeigte, dass das Projekt ITP nicht als verwertbares Produkt nutzbar war, es benötigte noch erhebliche Jahre und Investitionen zur Weiterentwicklung. Die beim Fraunhofer-Prien entwickelten Algorithmen konnten aufgrund der zu geringen Datenbasis nicht oder nicht hinreichend genutzt werden. In die Evaluierung konnte nur eine geringe Anzahl von Parkplätzen, ausschließlich Autobahn-Parkplätze, mit einer Prognostik-Fehlerquote von ca. 30% und sehr wenige Telematiksysteme einbezogen werden. Auch ist hierbei der statische Ansatz, mit vorgegebenen limitierten Parkflächen eines Parkplatzes, maßgebend für die angestrebte Prognostik. Das Verfahren zielte primär auf die Möglichkeit der Überbelegung von Parkplätzen an Autobahnen.

Die Optimierung der Parkflächennutzung auf Bundesautobahnen ist tatsächlich aber ein genuiner Aufgabenbereich der Autobahn GmbH. Bei Parkplätzen neben Autobahnen erfolgt der Ausbau und die Parkflächenoptimierung durch Straßenverkehrsverwaltungen und private Anbieter. Dennoch weist der reine Forschungsansatz von ITP Parallelen zu dem praxisorientierten Ansatz von SOLP auf. Beide Ansätze nutzen Machine Learning-Verfahren über Verkehrsaufkommen mit Parkplatzvorgaben und beziehen dabei Informationen über Telematiksysteme ein.

Bezug auf andere im mFUND befindlichen Projekte

In den BMVI-mFUND-Projekten zu Beginn von SOLP existierten einzelne Ausarbeitungen, die ansatzweise ähnliche Problemstellungen wie im SOLP-Projekt enthielten und die in der Erarbeitung der SOLP-Konzeption analysiert und bewertet wurden. Die speziellen Ausrichtungen einzelner Projekte, wie beispielsweise ITP (u. a. Überparken von Parkplätzen), MeteoValueLive (Wettereinflüsse), SPAA: analyse-spezifische Pseudonymisierung, u. a., haben divergente oder lediglich ansatzweise ähnliche Problemstellungen. Bei ähnlichen Fragestellungen wurden allerdings eigene komplexe mathematische und weitere spezielle KI-basierte Verfahren entwickelt, die unseres Erachtens weitaus effizienter und effektiver für die Lösung der SOLP-Problemstellungen sind. Dennoch war der Austausch empirisch erhobener Daten und auch einzelner Erkenntnisse aus den Auswertungen anderer Projekte hilfreich.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das **Konsortium des Verbundprojekts SOLP** setzt sich aus den folgenden Partnern zusammen:

- BLUE Consult GmbH (Konsortialführer)
- Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut
- KRAVAG und SVG Assekuranz Service GmbH

Im Rahmen der Antragstellung des Förderprojekts sowie während des Projektverlaufs haben **assoziierte Partner das Konsortium** mit ihrer jeweiligen Expertise fachlich beraten, als Datengeber unterstützt oder sich auf politischer Ebene für SOLP eingesetzt. Zu nennen sind hier:

- Die Autobahn GmbH des Bundes
- Toll Collect GmbH
- BGL Bundesverband Güterverkehr, Logistik und Entsorgung e.V.
- SVG Bundes-Zentralgenossenschaft Straßenverkehr eG
- BASt Bundesanstalt für Straßenwesen
- Landesbaudirektion Bayern (Zentralstelle Verkehrsmanagement)
- Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung war es darüber hinaus erforderlich, ein umfangreiches **Ökosystem aus weiteren Partnern, Unterstützern und Stakeholdern** aufzubauen und in die Projektarbeit miteinzubeziehen. Vertreten sind hier:

- Transportlogistikunternehmen
- Parkraumbetreiber
- Anbieter von Telematik- und Transportmanagementsystemen
- Anbieter von digitalen Logistikplattformen
- Anbieter von Tankkarten
- Verbände aus der Logistikbranche
- Institutionen der öffentlichen Verwaltung
- Wissenschaftliche Institutionen und Hochschulen

Alle genannten Partner, Unterstützer und Stakeholder haben maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung des Projekts beigetragen.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2.1.1 Arbeitspaket 1: Projektmanagement, Anforderungsanalyse & Lösungsarchitektur, Dissemination

2.1.1.1 Projektmanagement

Interne Organisation der Projektarbeit

Das Projektmanagement für das Verbundprojekt SOLP wurde federführend von der BLUE in Ihrer Rolle als Konsortialführerin übernommen.

In der Startphase des Projekts hat die BLUE unmittelbar nach Erhalt des Zuwendungsbescheids die Projektorganisation entworfen, mit den Konsortialpartnern abgestimmt und etabliert. Für die Durchführung des Projekts wurden im Förderantrag **sieben Arbeitspakete** definiert:

- Arbeitspaket 1: Projektmanagement, Anforderungsanalyse & Lösungsarchitektur, Dissemination
- Arbeitspaket 2: Ermittlung der Parkplatzbelegung
- Arbeitspaket 3: Datenakquise, Datenintegration und Datenbereitstellung
- Arbeitspaket 4: Datenanalyse
- Arbeitspaket 5: Prototypische Entwicklung der SOLP-Plattform und Dienste
- Arbeitspaket 6: Pilotierung, Evaluierung & Optimierung
- Arbeitspaket 7: Datenmanagement und Daten(schutz)-recht

Die Bearbeitung dieser Arbeitspakete und die operative Zusammenarbeit im Projekt wurden in **drei Workstreams** organisiert:

- Workstream Anforderungen, Geschäftsmodell, Dissemination
- Workstream Lösungsarchitektur
- Workstream Daten und Modellierung

Die fachlich-inhaltliche Arbeit der Konsortialpartner in den Workstreams wurde durch Workstream-Teams geleistet. Diese wurden gemäß den jeweiligen Anforderungen bedarfsgerecht aus Experten der Konsortialpartner zusammengestellt. Die übergreifende Planung und Steuerung der Zusammenarbeit erfolgte durch ein weiteres Team, das sich aus den jeweiligen Projektleitungen der Konsortialpartner zusammensetzte.

Die für die Projektarbeit notwendigen Abstimmungen und Koordinierungen wurden durch regelmäßige Arbeitssitzungen der Teams sichergestellt. Diese fanden im Zuge des Projekt-Setups zunächst wöchentlich und anschließend im zweiwöchentlichen Turnus als Websessions statt. Neben den genannten Regelsitzungen wurden bei Bedarf ebenfalls online weitere Arbeitssitzungen in den Workstreams durchgeführt, um offene Fragen schnell zu klären, Einzelaufgaben gezielt zu bearbeiten und die Inhalte der Arbeitspakete zügig voranzutreiben.

Während der Projektlaufzeit fanden darüber hinaus **vier Konsortialtreffen** vor Ort beim FHHI statt. Diese dienten der umfassenden, workstreamübergreifenden Reflexion und Bewertung des Projektstatus, der Bearbeitung zentraler Fragestellungen, der Entscheidungsfindung und der Planung des weiteren Vorgehens.

Für die Zusammenarbeit der räumlich verteilten Projektteams wurde von der BLUE eine digitale Kollaborationsplattform eingerichtet. Mit den bereitgestellten Werkzeugen wurde die Projektarbeit in den folgenden Aspekten unterstützt:

- Durchführung von Websessions und Kommunikation via Chat-Nachrichten
- gemeinsam Arbeit an und zentrale Ablage von Dokumenten
- Planung und Zuordnung von Aufgaben sowie laufendes Tracking der Aufgabenbearbeitung
- digitales Whiteboard zur Durchführung von remote-Workshops und zur (visuellen) Ergebnisdokumentation

Zusammenarbeit mit Partnern und Stakeholdern

Im Rahmen der vier **Online-Veranstaltungen „Dialog mit Partnern, Förderern und Stakeholdern"** wurden die Partner und Stakeholder von SOLP aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zusammenfassend über den Projektfortschritt und die erzielten Ergebnisse informiert. Fragen konnten vom Projektteam beantwortet und inhaltliche Anregungen aufgenommen werden.

Die individuelle, bilaterale Zusammenarbeit mit den Partnern und Stakeholdern wurde zentral durch die BLUE koordiniert und während der gesamten Projektlaufzeit in Form von Interviews, Arbeitssitzungen, Workshops oder durch die Bereitstellung von Daten organisiert. Auf diese Weise konnten fehlendes Know-how und Erfahrungswissen als wichtige Impulse für eine anwenderorientierte und praxistaugliche Lösungsentwicklung in das Projekt eingebracht werden. Zudem konnten die für die Entwicklung und das Training der KI-Modelle erforderlichen Daten akquiriert werden.

Projektablauf

Die Bearbeitung der Projektaufgaben war ursprünglich für die Laufzeit vom 01.12.2021 bis zum 30.11.2024 geplant und bewilligt worden. Aufgrund der Datenlage wurde die Laufzeit des Projekts kostenneutral um sechs Monate bis zum 31.05.2025 verlängert. In Abstimmung mit dem BMDV und dem Projektträger VDI/VD Innovation + Technik GmbH wurde in diesem Zuge die Bearbeitung der Arbeitspakete 3 bis 6 bis zum Projektende verlängert. Die nachfolgende Abbildung zeigt den zeitlichen Verlauf des Projekts entlang der genannten Arbeitspakete nach der Laufzeitverlängerung.

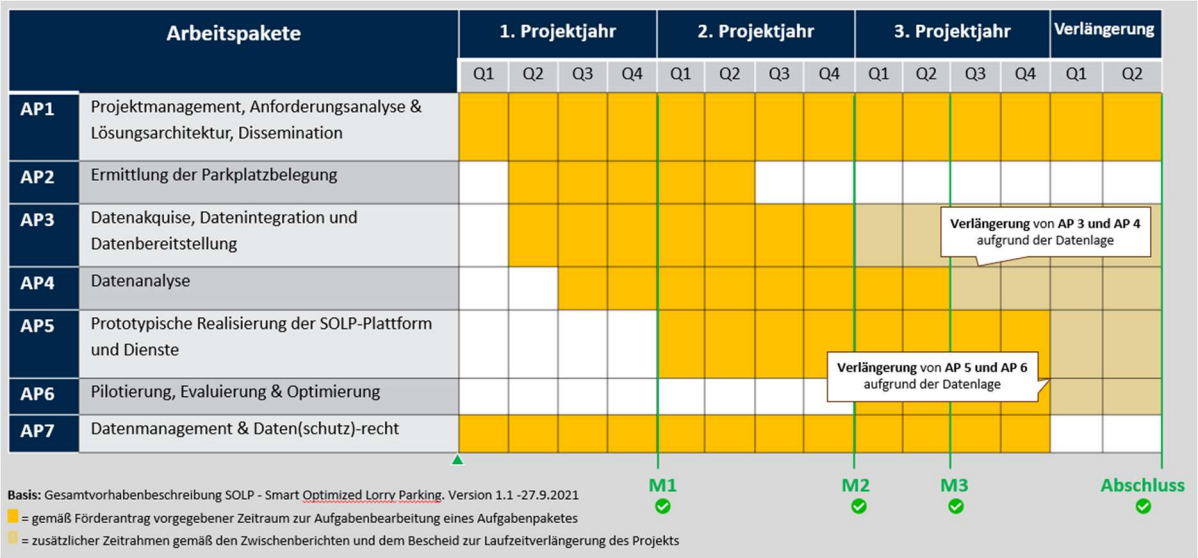

Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf des Projekts SOLP inklusive der Meilensteine unter Berücksichtigung der Laufzeitverlängerung

Die Verlängerung der Projektlaufzeit hat naturgemäß zu einer zeitlichen Verschiebung des Meilensteins Projektabschluss geführt. Unter Beachtung der neuen Laufzeiten wurden jedoch alle notwendigen Arbeitspakete fristgerecht bearbeitet und abgeschlossen. Die mit dem Projektträger vereinbarten Meilensteine wurden sowohl inhaltlich als auch zeitlich erfüllt.

Die Nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisprofile zu den jeweils erfolgreich abgeschlossenen Meilensteinen des Projekts.

Meilenstein 1

	Titel des Meilensteins	Datum:	Abgeschlossene AP:
M1	Fertigstellung der **Gesamtkonzeption**, erste **Verfahren** zur Ermittlung der **Parkplatzbelegung**	nach Projektmonat 12	AP1, Zwischenergebnis von AP2

Ergebnis des Meilensteins M1:

- Die **Anforderungsanalyse** ist konsolidiert. ✓
- **Gesamtkonzept** und **Lösungsarchitektur** wurden erstellt: Version 1 Gesamtkonzept und Lösungsarchitektur fertiggestellt. ✓
- Erste **Verfahren** zur Ermittlung der **Parkplatzbelegung** wurden entwickelt: Belegung von 22 Parkplätzen an der A9 ermittelt. ✓

Basis: Gesamtvorhabenbeschreibung SOLP - Smart Optimized Lorry Parking. Version 1.1 -27.9.2021. S. 25 f

Abbildung 3: Meilenstein 1 - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil

Meilenstein 2

	Titel des Meilensteins	Datum:	Abgeschlossene AP:
M2	Fertigstellung der **ersten Version** des **Demonstrators** (**erste Version** der **Analyse**)	nach Projektmonat 24	AP2 und AP3 abgeschlossen, Zwischenergebnis von AP4

Ergebnis des Meilensteins M2:

- **Weitere Verfahren** zur **Parkplatzbelegung** wurden entwickelt. ✓
- **Bewertung** der **betrachteten Verfahren** wurde durchgeführt. ✓
- **Implementierung** der geeignetsten Verfahren **in die Lösungsarchitektur** wurde durchgeführt. ✓
- **Notwendige Daten** wurden erfasst und gespeichert. ✓
- **Erste Version** eines lauffähigen Demonstrators wurde fertiggestellt. ✓

Verlängerung der **Datenbeschaffung** gem. Zwischenbericht und Verlängerungsantrag aufgrund **externer Einflussfaktoren**

Basis: Gesamtvorhabenbeschreibung SOLP - Smart Optimized Lorry Parking. Version 1.1 -27.9.2021. S. 25 f

Abbildung 4: Meilenstein 2 - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil

Meilenstein 3

	Titel des Meilensteins	Datum:	Abgeschlossene AP:
M3	Erste Ergebnisse der **Evaluierung** des Demonstrators (Evaluation des Demonstrators, Ergebnisse, die zur Optimierung genutzt werden können)	nach Projektmonat 30	AP4 abgeschlossen

Ergebnis des Meilensteins M3:

- KI-Verfahren zur Prognose des Verkehrsflusses wurden entwickelt und um Realtime erweitert. ✓
- Prognosemodelle wurden in ein Empfehlungssystem implementiert. ✓
- Der Demonstrator wurde evaluiert und erste Ergebnisse liegen vor. ✓

Verlängerung der **Evaluierungsphase** gem. Zwischenbericht und Verlängerungsantrag aufgrund **externer Einflussfaktoren**

Basis: Gesamtvorhabenbeschreibung SOLP - Smart Optimized Lorry Parking. Version 1.1 -27.9.2021. S. 25 f

Abbildung 5: Meilenstein 3 - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil

Meilenstein 4 Projektabschluss

	Titel des Meilensteins	Datum:	Abgeschlossene AP:
M4	Projekt-Abschluss Meeting	Zum Projektende	AP7 abgeschlossen

Ergebnis des Meilensteins M4 - Projektabschluss:

- Präsentation der Erkenntnisse und des lauffähigen Demonstrators ✓
- Veröffentlichung der Schnittstellen im GitHub ✓
- Link-Sammlung zu Veröffentlichungen und Konferenzberichten ✓

Basis: Gesamtvorhabenbeschreibung SOLP - Smart Optimized Lorry Parking. Version 1.1 -27.9.2021. S. 25 f

Abbildung 6: Meilenstein 4 Projektabschluss - Zeitliches und inhaltliches Ergebnisprofil

Die Projektarbeit und der Mitteleinsatz im Projekt war jederzeit konsequent auf die Erreichung des Projektziels ausgerichtet. Durch eine iterative Arbeitsweise und die damit verbundene zyklische Bewertung der erzielten Arbeitsergebnisse konnten notwendige oder erfolgversprechende Anpassungen in der Schwerpunktsetzung und Ausrichtung der Projektarbeit schnell in den Projektteams sowie mit dem Projektträger abgestimmt und umgesetzt werden. So konnte ein sparsamer Umgang mit den zugewendeten Mitteln erreicht und das Projekt innerhalb des vorgesehenen Budgetrahmen erfolgreich umgesetzt werden.

Den formellen Rahmen des Projekts bildeten die Kick-off-Veranstaltung am 27.01.2022 und die Projekt-abschlussveranstaltung am 05.06.2025. Die Projektarbeit im Konsortium, mit den Projektpartnern und Unterstützern ist dabei jederzeit gut, stabil und vertrauensvoll gewesen.

2.1.1.2 Nutzeranforderungen

Zielsetzung

Um das Ausgangsproblem zu lösen und die vorhandenen Lkw-Stellplätze optimal zu nutzen, ist das KI-gestützte Prognosesystem das Herzstück eines Gesamtkonzepts. Für die **Praxistauglichkeit** und **Akzeptanz der angestrebten Lösung** ist es allerdings ebenso entscheidend, den Nutzern die Ergebnisse der Prognostik an relevanten Kontaktpunkten zur Verfügung zu stellen, damit beispielsweise Lkw-Fahrer oder Disponenten der Transportlogistikunternehmen diese Informationen im Zugriff haben, wenn es die Arbeitssituation erfordert.

Dementsprechend mussten Überlegungen angestellt werden, wie SOLP die Prognosedaten einer möglichst breiten Nutzerschaft zur Verfügung stellen und die Nutzerakzeptanz eines auf der SOLP-Plattform basierenden Dienstes fördern kann. Zudem musste geklärt werden, wie der Dienst über die bestehenden Marktmechanismen verbreitet werden kann.

Das Lösungsdesign der SOLP-Plattform und Dienste hat daher auch die Kontaktpunkte zu den Anwendern (Endgeräte, Anwendungen, Informationsangebote usw.) sowie die notwendigen Softwarekomponenten der geplanten Microservice-Architektur für ein erfolgreiches Lösungsdesign thematisiert. Dabei wurden verschiedene Möglichkeiten diskutiert und evaluiert, wie ein Prognose-Dienst zu den Marktteilnehmern transportiert werden kann.

Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für die strategische Ausrichtung und Ausarbeitung der Architektur der SOLP-Plattform und Dienste und sind weiterhin als wichtiger Faktor in die hierauf aufsetzende Entwicklung von Geschäftsmodellszenarien eingeflossen.

Betrachteter Lösungsraum

Bei der **Gestaltung der Kontaktpunkte im Lösungsdesign der SOLP-Plattform und Dienste** wurden die folgenden Möglichkeiten geprüft:

- **Mobile App für Smartphones:**
  Die benutzerfreundliche mobile Anwendung für Smartphones bietet einen direkten Weg zum Lkw-Fahrer.
- **Webbasierte Plattform:**
  Eine webbasierte Lösung, die auf Desktop-Computern und mobilen Geräten funktioniert, ist flexibler, beispielsweise was die Verknüpfung mit anderen Anwendungen betrifft.
- **Integration in bestehende Systeme:**
  Die Integration in bestehende Navigations-, Telematik- oder Transportmanagementsysteme ermöglicht eine direkte Einbindung der Prognosedaten in bewährte Anwendungen und Prozesse für verschiedene Nutzergruppen. Die Verwendung vertrauter Geräte und Schnittstellen könnte die Akzeptanz und Benutzerfreundlichkeit erhöhen.

Vorgehen

Für die Erhebung der Anforderungen oder für die Überprüfung konzeptioneller Annahmen wurde folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Interviews, Demotermine oder Nutzertests mit Lkw-Fahrern und Transportlogistikunternehmen auf Basis eines Klick-Prototyp mit Umsetzung der Kernanforderungen
- Interviews von Transportlogistikunternehmen zur digitalen Infrastruktur und Anforderungen
- Qualitative Befragung von Transportlogistikunternehmen über die Mitglieder der Erfahrungsgruppen der Straßenverkehrsgenossenschaften
- Interviews mit Telematiksystem-Anbietern
- Desk Research und Literaturstudium

Anforderungsaufnahme durch Interviews und Klick-Prototyp

Für die ersten Interviews und Abstimmungstermine mit potenziellen Endanwendern der Transportlogistik-unternehmen wurde ein **Klick-Prototyp** erstellt, der die wichtigsten Funktionen einer potenziellen mobilen SOLP-App enthält. Mithilfe dieses Prototyps konnte demonstriert werden, wie eine funktionierende App aussehen würde und wie sich die Bedienung anfühlt. Dabei wurde zunächst der Fokus auf die Nutzung der App durch Lkw-Fahrer gelegt. Die Unterstützung von Disponenten wurde in einem zweiten Schritt durch Interviews ohne Bilder oder Prototypen abgefragt.

Zur Definition der Anforderungen wurde das **„Jobs-to-be-Done“-Framework (JTBD)** verwendet. JTBD ist eine Methode aus der Produktentwicklung. Sie zielt darauf ab, tiefgreifende Einblicke in die Bedürfnisse und Motivationen von Kunden bzw. Anwendern zu gewinnen. Diese dienen als Basis für ein praxistaugliches Lösungsdesign. Zentraler Gedanke dabei ist, dass der Fokus weniger auf dem Produkt oder der Dienstleistung selbst, sondern vielmehr auf dem Ergebnis liegt, das der Kunde bzw. Anwender erreichen möchte.

Die Ergebnisse der Interviews wurden in einer **Anforderungsliste mit Job-Stories** zusammengefasst, die im Laufe der weiteren Anforderungserhebung und je nach Erkenntnisfortschritt im Projekt angepasst und erweitert wurde.

Aus den Interviews konnte insbesondere festhalten werden, dass die Befragten einen **akuten, hohen Bedarf an Unterstützung beim Lkw-Parken** sowie ein **hohes Interesse an der Nutzung des vorgestellten SOLP-Dienstes** äußerten. Darüber hinaus zeigte sich, dass eine monofunktionale App, die lediglich die Prognosefunktion bereitstellt, aus Anwendersicht nicht ausreichend ist. Benötigt wird ein Dienst, der die wichtigsten Funktionen für eine gesamte Tour bzw. einen gesamten Transport einschließlich, der Planung von Ruhezeiten bereitstellt. Bei der Auswahl von Rastanlagen für die vorgeschriebenen Ruhezeiten wären das beispielsweise Informationen über sanitäre Anlagen, Restaurants, Einkaufsmöglichkeiten sowie weitere Ausstattungs- und Sicherheitsmerkmale.

Anforderungsaufnahme durch vertiefende Interviews bei Transportlogistikunternehmen

Für die vertiefende Erhebung der fachlichen Anforderungen wurde erneut die qualitative Forschung in Form von Interviews gewählt, um die spezifischen Bedürfnisse und Herausforderungen der Transportlogistik-unternehmen bei der Nutzung bestehender Anwendungen zur Unterstützung des Lkw-Parkens zu verstehen.

Die Zielestellungen waren hierbei:

- Informationen über die Benutzeroberfläche und das Nutzererlebnis zu erhalten, um sicherzustellen, dass die zu entwickelnde Lösung intuitiv und effizient in den Arbeitsalltag integriert werden kann. (Option mobile App)
- Ein besseres Verständnis darüber zu erlangen, wie der SOLP-Dienst am besten in die bestehenden Systeme und Prozesse der Unternehmen integriert werden kann, um die Akzeptanz und Nutzungsrate zu erhöhen.
  (Option Integration)

Die Interviewpartner wurden vom assoziierten Partner SVG in den SVG-Erfahrungsgruppen rekrutiert. Dabei handelt es sich um ein Unternehmensnetzwerk, in dem sich Transportlogistikunternehmen regelmäßig austauschen. Der Fokus lag hierbei auf Speditionen mit 25 bis 70 Fahrzeugen.

Insgesamt wurden **Interviews mit acht Unternehmen** geführt, aus denen die folgenden Kernaussagen verdichtet werden konnten:

- Derzeit wird in den Unternehmen keine Anwendung zur Unterstützung bei der Suche nach Lkw-Stellplätzen auf Rastanlagen an Bundesautobahnen genutzt. Bisher konnte kein Dienst dieses Problem auf geeignete Weise lösen, obwohl die Nachfrage groß ist.
- Eine Anwendung in Form einer separaten App würde Akzeptanzprobleme verursachen, da sie für die Anwender erheblichen zusätzlichen Aufwand bei der Nutzung erfordern würde. Die meisten Lkw-Fahrer und Spediteure bevorzugen die Integration der SOLP-Prognostik in bereits vorhandene Systeme und Anwendungen.
- Alle Maßnahmen, die dazu beitragen, Arbeitsplätze in der Logistik attraktiver zu gestalten, sind willkommen.
- Die Technologielandschaft für Telematik- und Transportmanagementsysteme in der Logistik ist nach wie vor sehr heterogen. Es gibt historisch gewachsene Einzelanbieter mit unterschiedlichen Reifegraden in Bezug auf die Vernetzungsfähigkeit. Der Trend geht jedoch zunehmend hin zu vernetzten Systemen, was auch von einem zukünftigen SOLP-Dienst erwartet wird.
- Auch die Hersteller von Lkw und Trailern setzen zunehmend auf datenbasierte Dienste oder Apps, wie zum Beispiel MAN, Daimler, Scania, Volvo oder Schmitz Cargobull und Krone. Dabei nutzen sie offene Schnittstellen, um vernetzte Systeme zu ermöglichen.

Die Interviews haben eindeutig gezeigt, dass eine **integrierte Lösung für die Bereitstellung des SOLP-Dienstes** der beste Weg ist, um möglichst viele Betroffene zu erreichen.

Anforderungsprüfung durch eine Online-Befragung von Transportlogistikunternehmen

Auf Basis der Ergebnisse der qualitativen Interviews wurde von Juli bis August 2023 eine **Online-Umfrage in den SVG-Erfahrungsgruppen** durchgeführt. Ziel war es, die bisherigen Ergebnisse und daraus abgeleitete Hypothesen auf einer noch breiteren Anwenderbasis zu überprüfen. 42 von rund 145 angefragten Unternehmen haben an der Online-Befragung teilgenommen. (SVG und SOLP-Konsortium 2023)

- Rund 90 % der teilnehmenden Unternehmen geben an, dass der Lkw-Fahrer sich selbst um die Suche nach einem Stellplatz kümmert.
- Rund 70 % der teilnehmenden Unternehmen würden den SOLP-Prognosedienst nutzen.
- Rund 65 % der teilnehmenden Unternehmen bevorzugen die Bereitstellung der Prognosedaten über vorhandene Anwendungen.

Der Anteil der teilnehmenden Unternehmen, die den SOLP-Dienst nutzen möchten und eine integrierte Lösung bevorzugen, ist damit zwar etwas geringer ausgefallen, als die vorherigen Interviews haben vermuten lassen. Bei der Bewertung dieser Zahlen wurde jedoch berücksichtigt, dass der Anteil der Unternehmen mit überwiegend regionalen Verkehren bei rund 33 Prozent lag. Das Projektteam ist davon ausgegangen, dass der Parkdruck sowie die Sensibilität und der Bedarf für eine einfache, integrierte Unterstützung bei der Stellplatzsuche bei diesen Unternehmen geringer sind als bei Unternehmen mit internationalen Verkehren. Somit lassen sich die Befragungsergebnisse im Abgleich mit den Ergebnissen der vorherigen Interviews nachvollziehbar erklären.

Aus Sicht des Projektteams hat die Online-Betragung die Ergebnisse der Interviews bestätigt. Das Konsortium hat daher entschieden, das **Lösungsdesign von SOLP auf die Entwicklung eines Datendienstes auszurichten** und auf die ursprünglich geplante Entwicklung einer eigenständigen App im Rahmen des Projekts zu verzichten.

Erweiterung der Anforderungsaufnahme durch Interviews mit Telematiksystem-Anbietern

Aufgrund der Entscheidung für die Entwicklung des SOLP-Dienstes als Datendienst wurde die Anforderungsaufnahme um die Ermittlung des Bedarfs und der Anforderungen von Anbietern von Telematik- und Transportmanagementsystemen erweitert.

Hierzu wurde Interviews per Websession sowie Gespräche auf Veranstaltungen und Messen mit den folgenden Unternehmen und Experten durchgeführt:

- Lkw-Hersteller, die auch Telematiksysteme und Anwendungen für Lkw-Fahrer anbieten
- Trailer-Hersteller, die auch Telematiksysteme und teilweise auch Anwendungen für Lkw-Fahrer anbieten
- Unabhängige Anbieter von Telematik- und Transportmanagementsystemen
- Anbieter von Logistikplattformen
- Experten aus Wissenschaft und Verbänden

Aus den Interviews und den Gesprächen können die folgenden Kernaussagen zusammengefasst werden:

- **Zentrale Herausforderungen aus dem Marktumfeld der Systemanbieter**
  - Unternehmens- und Systemübergreifende Digitalisierung und Automatisierung von Prozessen
  - Verbesserung der Zuverlässigkeit, Effizienz und Sicherheit der Transporte
  - Unterstützung der Kunden beim Umstieg auf Elektromobilität

- Unterstützung der Kunden bei der Umsetzung regulatorischer Vorgaben
- Identifikation und Umsetzung von Nutzungspotenzialen künstlicher Intelligenz
- Ausrichtung auf die Berücksichtigung der ESG-Kriterien (Environmental, Social, Governance)

- **Nutzung und Reichweite von Telematik- und Transportmanagementsystemen in Deutschland**
  - Der Markt der Telematik- und Transportmanagementsystemen ist stark fragmentiert. Es gibt einige größere Anbieter und eine Vielzahl kleiner Spezialanbieter.
  - Die großen Lkw-OEMs und die relevanten deutschen Hersteller von Trailern bieten beim Kauf werkseitig, meist serienmäßig Telematiksysteme mit an.
  - Mittlere und große Transportlogistikunternehmen aus Deutschland nutzen bereits heute Telematiksysteme und Anwendungen zum Transportmanagement.
  - Die 10-15 marktführenden Anbieter von Telematiksystemen decken in Summe einen substanziellen Anteil der Lkw-Flotten dieser Unternehmen ab.
  - Die Tendenz im Markt geht hin zu einer zunehmenden Vernetzung der Systeme.

- **Relevanz der Stellplatz-Problematik und Interesse an der Nutzung des SOLP-Prognosedienstes**
  - Die Stellplatz-Problematik wird als ein sehr drängendes und relevantes Problem der Transportlogistikunternehmen eingeschätzt.

    Vor dem Hintergrund der Herausforderungen des Umstiegs auf Elektromobilität gewinnt eine gute Planung der Ruhezeiten des Fahrpersonals in Kombination mit den Möglichkeiten dies beispielsweise mit dem Aufladen von Batterien zu kombinieren weiter an Bedeutung.
  - Das Interesse an der Nutzung des SOLP-Prognosedienstes ist insbesondere bei den unabhängigen Anbietern von Telematik- und Transportmanagementsystemen und den Anbietern von Logistikplattformen hoch

Fazit

Im Rahmen der **Anforderungsanalyse** konnten die folgenden **wesentlichen Erkenntnisse als Grundlage für die weitere Entwicklungsarbeit** gewonnen werden:

- Der akute Bedarf der Endanwender zur besseren Unterstützung der Stellplatzsuche und das hohe Interesse an der Nutzung des SOLP-Prognosedienstes wurde mit Nachdruck bestätigt.
- Die Integration der Prognosefunktion in vorhandene und erprobte Anwendungen wird von den Endanwendern eindeutig bevorzugt.
- Zusätzlich zu den Belegungsprognosen zu den Stellplatz-Kapazitäten wird von SOLP die Lieferung von Informationen zum Ausstattungs- und Sicherheitsprofil der einzelnen Rastanlagen gewünscht.
- In einem fragmentierten Markt für Telematik- und Transportmanagementsysteme kann die Tendenz zur zunehmenden Vernetzung der Systeme festgestellt werden, was den Integrationsansatz für SOLP zusätzlich bestätigt.
- Über einige führende Telematiksystem-Anbieter kann eine gute Reichweite für den SOLP-Prognose-dienst für aussagekräftiges Marktfeedback zur Anforderungsreflexion und -aktualisierung erreicht werden.
- Das Interesse an der Integration des SOLP-Prognosedienstes ist bei den unabhängigen Anbietern von Telematik- und Transportmanagementsystemen und den Anbietern von Logistikplattformen hoch.

2.1.1.3 Marktanalyse

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus der Anforderungsanalyse hat das Projektteam im Jahr 2022 eine Marktanalyse durchgeführt. Im Rahmen einer **internen Studie** wurde der **europäische Markt für Lkw-Parklösungen (z. B. Apps, APIs, POI-Integrationen) anhand relevanter Use Cases überprüft.** Die Analyse diente der Positionierung von SOLP gegenüber den verfügbaren Alternativangeboten.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden im Projektverlauf und zuletzt für den Abschlussbericht auf Aktualität geprüft (Stand November 2025) und durch Ergebnisse aus externen Studien beispielsweise von Technavio (Technavio 2025) oder des MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Cieśla und Budzyński 2025) sowie durch die Auswertung aktueller kommerzieller Entwicklungen (LKW.APP von Aparkado und TRAVIS Road Services) ergänzt.

Im Folgenden werden die Methodik der Studie sowie die wesentlichen Ergebnisse der Analyse mit Relevanz für SOLP erläutert.

Methodik

- **Erhebungszeitraum**

  Basiserhebung:
  2022 (interne Studie des SOLP-Projektteams)

  Aktualisierung:
  Laufende Desk-Research 2024/2025 mit dem Abgleich von Marktkennzahlen, Produktfeatures und Standards anhand der oben genannten externen Quellen

- **Datenbasis**

  Primärdaten:
  - interne Studie des SOLP-Projektteams im Jahr 2022 zur Markt- und Use-Case-Analyse für Lkw-Parklösungen in Europa
  - interne PoC-Ergebnisse und Integrationsnachweise (nicht öffentlich zugänglich)

  Sekundärdaten:
  Externe Markt- und Fachquellen zur Aktualisierung und Kontextualisierung:
  - Marktberichte und Größen-/CAGR-Schätzungen (Compound Annual Growth Rate):
    Technavio (Technavio 2025), GlobeNewswire (GlobeNewswire 2025) und Verified Market Research (Verified Market Research 2025)
  - Wissenschaftliche Literatur zu Prognosen, Intelligent Transportation Systems (ITS) und Geodaten:
    MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute zu Lkw-Parkplatzbelegung und Machine Learning-basierten Vorhersagen (Cieśla und Budzyński 2025), ScienceDirect zu ITS (Elassy, et al. 2024), ScienceDirect zu Geospatial Truck Parking Data (Plötz und Link 2024)
  - EU-Programmkontext:
    EN Horizon Europe Work Programme 2025, Cluster 8 Climate, Energy and Mobility (Europäische Kommission 2025)
  - Kommerzielle Anbieter-/Feature-Validierung:
    LKW.APP Website (LKW.APP 2025) und Play Store (Google Play 2025), TRAVIS Netzwerk (TRAVIS Road Services 2025), OTRA Buchungsnetz (OTRA Solutions BV 2025) sowie weitere ergänzende Industrieinformationen

- **Validierung**

  Triangulation der Marktkennzahlen:

  Vergleich unterschiedlicher Schätzungen (CAGR/Volumen) über GlobalNewswire 2025 und Verified Market Research 2025 sowie globaler Bezugsrahmen in Technavio 2025, um Spannbreiten und Konsistenz zu bestimmen

  Technische Validierung der Prognose-These:

  Abgleich interner PoC-Ergebnisse mit ML-/ITS-Literatur (Genauigkeitsbereiche und Einfluss externer Faktoren) von Cieśla und Budzyński 2025 und Elassy et al. 2024 sowie bzgl. räumlicher Datenbasis und Standortkontext via Geodaten-Referenzen aus Plötz und Link 2024

  Funktions- und Feature-Validierung:

  Prüfung öffentlich dokumentierter Anbieterfeatures und Netzabdeckung (Reservierung, Echtzeitzählungen, API-Verfügbarkeit) über LKW.APP, TRAVIS Road Services und OTRA (Quellenangaben s.o.) sowie Einordnung zusätzlicher Marktinfos

  Standard-/Schnittstellen-Kontext:

  Berücksichtigung etablierter EU- bzw. Branchenstandards und API-basierter Integrationsmuster (Datex-II / ETPA, rFMS (remote Fleet Management System)

Analyseergebnisse

Die Marktanalyse hat eine solide Informationsgrundlage sowie wichtige Eckdaten geliefert, um die Bedarfslage, die Markttrends und das Marktpotenzial des geplanten Prognosedienstes einzuschätzen und das Leistungsprofil alternativer Dienste für die weitere Projektentwicklung auszuwerten.

Die folgende Aufstellung gibt einen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse:

- **Marktvolumen und -trends**

  Marktwachstum:

  Der europäische Smart Parking Markt wächst stark mit einer CAGR von 20,11 % (bis 2033) und einem erwarteten Volumen von 12,88 Mrd. USD (Technavio 2025).

  Neuer Trend:

  Der Fokus liegt auf Machine Learning-basierten Prognosen (85–90 % Genauigkeit) und der Integration dynamischer Daten.

- **Verfügbare Marktlösungen**

  Im Gegensatz zu SOLP waren viele der untersuchten Lkw-Parklösungen statisch (keine 2-Stunden-Prognosen), hatten eine begrenzte API-Einbindung und berücksichtigten externe Faktoren (beispielsweise Unfälle oder Wetterereignisse) nicht explizit.

In der nachfolgenden Tabelle ist eine Auswahl der untersuchten Lkw-Parklösungen mit ihren Hauptfunktionalitäten und unterstützten Use Cases aufgeführt.

Lösungsbereich	Relevante Marktlösungen (Auswahl)	Hauptfunktionalität & Use-Cases
POI-basierte Apps	Truck Parking Europe, LKW.APP	Routenplanung, statische Servicelisten, Community-basierte Belegungsinfos; Fokus: 90 % der Nutzer priorisieren Echtzeit-Verfügbarkeit
Reservierung	TRAVIS Road Services, Bosch Secure Parking, KRAVAG Truck Parking	Buchung von Lkw-Stellplätzen
OEM / Telematik	Mercedes-Benz Driver, Volvo Dynafleet, RIO the Logistic Flow	• Lenkzeitüberwachung, Flotten- und Fahrerverwaltung • Zugriff auf Fahrzeugdaten über rFMS
Herstellerunabhängige Telematik (DE)	Webfleet, Spedion, Yellowfox	Offene, markenunabhängige Cloud-Lösungen mit API-Schnittstellen, Alarmfunktionen und Kartenintegration (PTV Logistics, Google, Here, OSM)
Internationale Anbieter (auch DE)	Trimble, Webfleet/ Bridgestone	• Globale Telematik mit Fokus auf Flottenmanagement • Trimble: Predictive Parking & Trip Planning (DE-Integration via Partnerschaft) • Bridgestone: Fleetcare Go Plan mit Webfleet-Telematik für DE-Fleets (Tyre-Monitoring, API)

Tabelle 1: Lkw-Parklösungen: Profile von Alternativangeboten zu SOLP zur Unterstützung des Lkw-Parkens

- **Marktlage (EU-weit, 2022)**

  Defizit:

  390.000 Lkw-Stellplätze täglich (Haus 2025), davon 40.000 in Deutschland (BGL 2023)

  Impacts:

  Staus/Unfälle reduzieren Verfügbarkeit um 30–50 % (SOLP-Konsortium 2022)

  Marktgröße:

  ca. 2–3 Mrd. €

Aktualität & Ergänzungen (2025): Die Positionierung von SOLP

Die Marktanalyse zeigt eine **Entwicklung hin zu dynamischen Prognosen**. Das Forschungsprojekt SOLP ist hier nicht nur Beobachter, sondern mit seinem KI-Modell der führende Akteur im PoC in Deutschland.

SOLP-Themenfeld	Marktentwicklung 2025 (Wettbewerb & Standards)	Alleinstellungsmerkmale SOLP
Bereitstellung von Infos zu freien Stellplätzen (reservierbar/freie in 2h)	Kommerzielle Apps (LKW.APP) bieten Trend-aussagen bis einem Zeithorizont von 15h. APIs z. B. der SID Stellplatzinformationsdienst von Toll Collect (Toll Collect 2025) oder von NDW Nationaal Dataportaal Wegverkeer (NDW 2025) liefern Echtzeit-Zählungen zur IST-Belegung von Parkflächen. TRAVIS erweitert seine Standorte für reservierbare Lkw-Stellplätze und andere Services.	• hohe Prognosegenauigkeit (2h-Horizont, inkl. Störungen) • schließt die Marktlücke des kritischen 2-Stunden-Fensters • Relevanz: 70 % der Fahrer priorisieren 2h-Vorhersagen (SVG und SOLP-Konsortium 2023).
Auswirkungen von Unfall, Starkregen, Stau, Baustellen	Bestätigung durch Studien: Stau/Regen senken Verfügbarkeit um bis zu 40 %, Baustellen um 25 % (GlobeNewswire 2025).	• Störfaktoren (z. B. Baustelle, Stau, Starkregen) werden über Veränderungen des Verkehrsflusses erfasst und fließen in die Prognose des Belegungsverhaltens ein. • +15 % Prognosegüte in Störfällen gegenüber reinen Vergangenheitsmodellen, relevant für ca. 60 % der potenziellen Anfragen von Lkw-Fahrern zur Parksuchunterstützung (Basis: interne Analysen u.a. auf Basis der Staubilanz des ADAC (ADAC e. V. 2025))
Einbindung über Schnittstellen	APIs sind Standard (LKW.APP REST-API ; ETPA Datex-II) und rFMS-Standard (Version 5.0.0, 2025) für Telematik-einbindung.	• offene Microservice-API (JSON, TLS), nahtlose Integration in Telematik- und Navigationssysteme • kompatibel mit EU-Standards (Horizon 2025: 80 % der Lösungen API-basiert) • SOLP API-Dokumentation verfügbar unter: Dokumentation des Parking-Services https://parking.services.solp.eu/api/doc Dokumentation des Prediction-Services https://prediction.services.solp.eu/api/doc • SOLP-Daten verfügbar über die Mobilithek

Tabelle 2: SOLP im Vergleich zu Alternativangeboten zur Unterstützung des Lkw-Parkens

Fazit - Relevanz für SOLP

SOLP kann sich erfolgreich als **prognostische Ergänzung zu bestehenden, oft statischen oder buchungs-orientierten Lösungen** positionieren**.** Das Projekt liefert die dringend benötigte, **präzise 2-Stunden-Prognose mit integrierter Störfaktoren-Berücksichtigung**.

Die Bereitstellung über offene Schnittstellen und die zentrale Datenplattform Mobilithek stärkt die B2B-Nutzung und bietet die Basis für Skalierung:

- **Marktpotenzial:**
  Kooperationen mit 50+ Anbietern
- **Ziel**:
  20 % Marktanteilswachstum bis 2030
- **Treiber:**
  Digitalisierung & EU-Förderung (mFUND, Horizon Europe)

2.1.1.4 Lösungsarchitektur

Auf Basis der Ergebnisse der Anforderungs- und der Markanalyse wurde die **SOLP-Plattform als modulare, serviceorientierte Architektur** konzipiert. Dadurch sind flexible Integration und skalierbare Nutzung möglich. Über klar definierte **APIs** und **Datenservices** unterstützt sie verschiedene Zielgruppen, darunter Endanwender, Anbieter von Telematik- und Transportmanagementsystemen sowie öffentliche Einrichtungen.

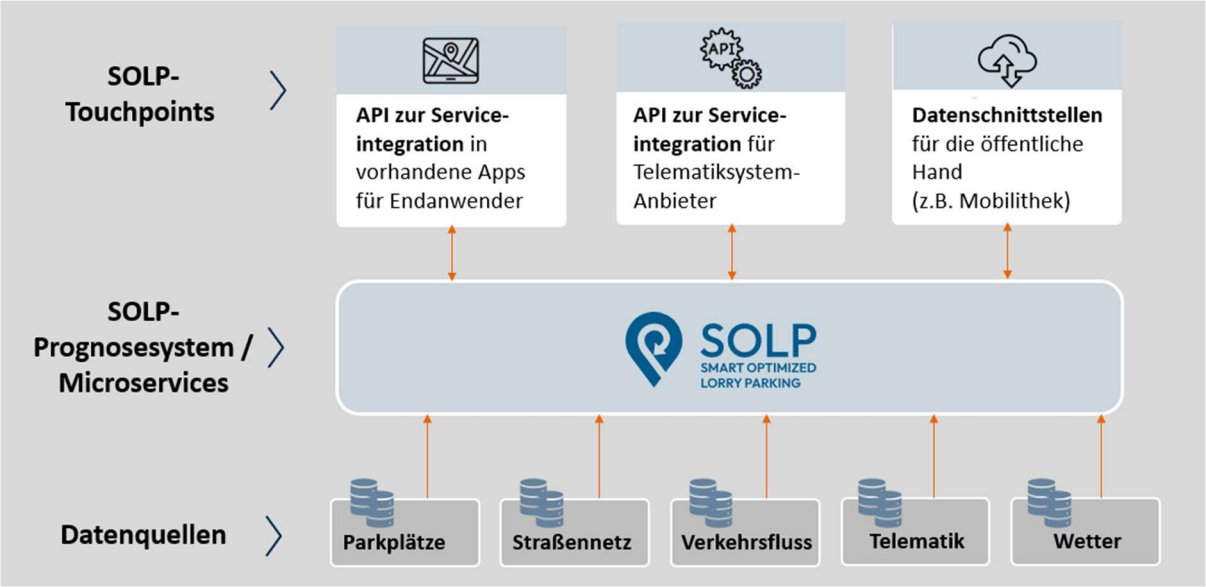

Abbildung 7: Lösungsarchitektur der SOLP-Plattform und Dienste

Das Lösungsarchitektur der SOLP-Plattform und Dienste besteht aus den folgenden Komponenten:

Microservice-Architektur

- SOLP basiert auf einer Microservice-Architektur, die einzelne Funktionalitäten als unabhängige, skalierbare Services bereitstellt.
- Die Services sind lose gekoppelt, können unabhängig voneinander deployed werden und kommunizieren über definierte Schnittstellen.

Datenquellen & Datenintegration

Die Plattform aggregiert Daten aus unterschiedlichen Quellen z. B.:

- **Parkplätze:**
  Echtzeitbelegung und Verfügbarkeit
- **Straßennetz:**
  Geometrie und Verkehrsführung
- **Verkehrsfluss:**
  Staus, Verkehrsbelastung und Prognosen

Die Datenintegration erfolgt über standardisierte APIs.

APIs & Integrationspunkte

SOLP bietet klare Schnittstellen für die Integration in externe Systeme:

- **Endanwender-Apps:**
  RESTful APIs ermöglichen die Einbindung von Echtzeit-Park- und Verkehrsservices in mobile Apps oder Webanwendungen.
- **Telematiksystem-Anbieter:**
  APIs erlauben die nahtlose Integration in Fahrzeug- und Flottenlösungen, um Services wie Tourenplanung, Parkleit- und Flottenmanagement zu nutzen.
- **Öffentliche Einrichtungen:**
  Datenschnittstellen (z. B. über die Mobilithek) unterstützen Städte und Kommunen bei der Nutzung der Daten für Verkehrsplanung oder Informationsdienste.

Prognose- und Analyse-Services

- Vorhersagesysteme (Prediction Services) nutzen kombinierte Datenquellen, um Verfügbarkeit von Parkplätzen, Verkehrsflüsse und Ankunftszeiten zu prognostizieren.
- Die Services sind modular aufgebaut und können unabhängig von anderen Komponenten erweitert oder ausgetauscht werden.

Dokumentation & Developer Support

Alle APIs sind ausführlich dokumentiert, um die Integration in bestehende Systeme zu erleichtern:

- **Parking-Service:**
  parking.services.solp.eu/api/doc
- **Prediction-Service:**
  prediction.services.solp.eu/api/doc

Fazit

SOLP ist ein **modulares**, **skalierbares** und **serviceorientiertes System**, das auf **Microservices** basiert, **standardisierte APIs** anbietet und **flexible Datenintegration aus verschiedenen Quellen** erlaubt. Dies ermöglicht die einfache Einbindung in Apps, Telematiklösungen, digitale Logistikplattformen oder kommunale Systeme und unterstützt sowohl Echtzeitbetrieb als auch Prognoseanwendungen.

2.1.1.5 Datenquellen

Die Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung der KI-Modelle für das Empfehlungssystem SOLP ist die Verfügbarkeit und der Zugriff auf die notwendigen Daten. In der Projektvorbereitung war insgesamt die **Verwendung von Standort-, Belegungs-, Verkehrs-, Wetter- sowie anonymisierter Telematikdaten** geplant.

Zu Projektbeginn wurde hierzu zunächst **eine Bestandsaufnahme vorhandener Datenquellen und Daten** durchgeführt bzgl. Verfügbarkeit, Zugriff, Datenstandards und technischer Schnittstellen, Eignung und möglicherweise entstehender Kosten.

Es folgt eine Auflistung der Datenquellen, die zu Projektbeginn evaluiert und verwendet oder aussortiert wurden.

Datenart	Datenquelle	Aktualität	Verwendung	Bemerkung
Parkplatzdaten	Rastanlagentool des BASt bzw. BMDV	Statisch	Stammdaten als Basis zur Belegungsprognose	
Parkplatzdaten	VEDA Vereinigung Deutscher Autohöfe e.V.	Statisch	Stammdaten als Basis zur Belegungsprognose	
Parkplatzdaten	OpenStreetMap	Statisch	Keine Verwendung	Ausschluss für SOLP aufgrund von Defiziten in der Datenqualität
Verkehrsfluss-daten	Mobilithek (früher MDM)	Dynamisch	Daten zur Verbesserung der Prognosequalität bei Störungen	Daten aus 4 Bundesländern verfügbar
Verkehrslage und Baustellen	Mobilitätsatlas Rheinland-Pfalz	Regionaldaten	Daten zur Verbesserung der Prognosequalität bei Störungen	Nicht flächendeckend, daher nicht für das Training der KI-Modelle genutzt
Satellitendaten	Satellitenanbieter (u.a. up42, Maxar)	Visuelle Validierung	Keine Verwendung	Ausschluss für SOLP wegen geringer Bildfrequenz im Tagesverlauf und geringer Auflösung

Tabelle 3: Sichtung und Bewertung möglicher Datenquellen für SOLP zu Projektbeginn

Fazit

Bereits zu Projektbeginn standen wichtige Daten aus öffentlichen Datenquellen zur Entwicklung der KI-Modelle zur Verfügung. Zusätzlich zu diesen Datenquellen wurden im Projektverlauf weitere Datenquellen erschlossen. Siehe hierzu die weiterführende Darstellung zur Datenakquise in Kapitel 2.1.3.

2.1.1.6 Geschäftsmodell

Vorgehen

Die Entwicklung eines Geschäftsmodells für SOLP basierte auf den Vorarbeiten aus der Anforderungsanalyse und der daraus abgeleiteten Lösungsarchitektur für die SOLP-Plattform und -Dienste. Zudem flossen die Ergebnisse der Marktanalyse, in der die verfügbaren Alternativangebote ausgewertet wurden, in die Entwicklung ein. Die weitere Ausarbeitung erfolgte in Workshops, Online-Arbeitssitzungen und Gesprächen mit Endanwendern und weiteren Zielgruppen, (assoziierten) Partnern, Stakeholdern und innerhalb des Projektteams.

Als **methodische Grundlage** für die Ausarbeitung des Geschäftsmodells wurde das Konzept des **Business Model Canvas (BMC)** von Alexander Osterwalder und Yves Pigneur genutzt (Osterwalder und Pigneur 2011). Das BMC ist ein einfaches und effektives Framework zur Strukturierung und Visualisierung von Geschäftsmodellen. Es eignet sich besonders gut, um eine bestehende Idee zu konkretisieren und zu prüfen, ob sie unternehmerisch sinnvoll ist.

Das BMC unterteilt jedes Geschäftsmodell in neun Bausteine. Die einzelnen Bausteine können gesondert betrachtet, ausgearbeitet und zueinander in Verbindung gesetzt werden. Im Zentrum des BMC steht das Wertangebot. Darüber hinaus wird in zwei weitere Perspektiven unterteilt. Die rechte Seite des Canvas behandelt externe, kundenbezogene Aspekte wie Kundensegmente, Kanäle, Kundenbeziehungen und identifiziert Einnahmequellen. Darüber wird beschrieben, wie der Wert für den Kunden und das Unternehmen geschaffen wird.

Die linke Seite des Canvas behandelt die internen, unternehmerischen Aspekte wie Schlüsselpartner, Schlüsselaktivitäten, Schlüsselressourcen und die daraus entstehenden Kosten. Darüber wird dargelegt, welche Mittel ein Unternehmen für erfolgreiche Umsetzung des Geschäftsmodells braucht.

Bausteine des Business Model Canvas

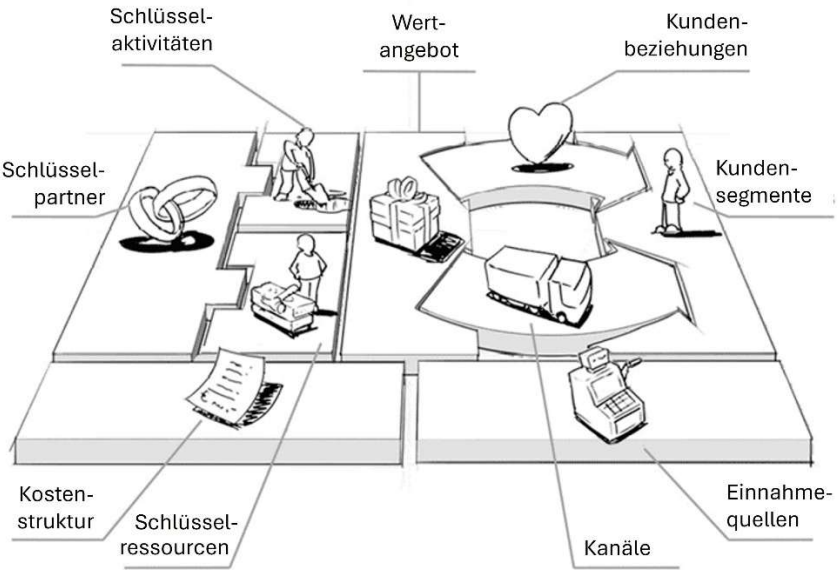

Abbildung 8: Business Model Canvas nach Osterwalder, Pigneur

Die Nachfolgende Aufstellung gibt einen Überblick über das inhaltliche Profil der Bausteine des BMC:

1) **Kundensegmente** (Customer Segments):
   Die Zielgruppen, die das Unternehmen bedienen möchte und deren Bedürfnisse.
   Leitfrage: *Für wen schaffen wir Wert?*

2) **Wertangebote** (Value Propositions):
   Die Produkte oder Dienstleistungen, die den Kundensegmenten angeboten werden.
   Leitfrage: *Welches Problem lösen wir und warum entscheiden sich Kunden für uns?*

3) **Kanäle** (Channels):
   Die Wege, über die das Unternehmen seine Wertangebote an die Kunden bringt.
   Leitfrage: *Wie erreichen wir unsere Kunden am effektivsten?*

4) **Kundenbeziehungen** (Customer Relations):
   Die Arten von Beziehungen, die zum Kunden aufgebaut werden sollen, um Vertrauen aufzubauen, Kunden zu gewinnen, zu binden und Loyalität zu sichern.
   Leitfrage: *Wie interagieren wir mit unseren Kunden?*

5) **Einnahmequellen** (Revenue Streames):
   Die Quellen, aus denen das Unternehmen Einkommen generiert.
   Leitfrage: *Wofür und wie viel sind unsere Kunden bereit zu zahlen?*

6) **Schlüsselressourcen** (Key Resources):
   Die notwendigen Ressourcen (z. B. Rechte, Mitarbeiter, Kapital, Technologie, Daten), um das Geschäftsmodell erfolgreich umzusetzen.
   Leitfrage: *Welche Assets sind für unseren Erfolg entscheidend?*

7) **Schlüsselaktivitäten** (Key Activities):
   Die entscheidenden Aktivitäten, die notwendig sind, um das Wertangebot zu liefern.
   Leitfrage: *Was müssen wir tun, damit unser Modell funktioniert?*

8) **Schlüsselpartnerschaften** (Key Partner):
   Die Netzwerke und Partner, die das Unternehmen unterstützen und die Wertschöpfung ergänzen.
   Leitfrage: *Mit wem sollten wir zusammenarbeiten, um erfolgreicher zu sein?*

9) **Kostenstruktur** (Cost Structure):
   Die wesentlichen Kosten, die mit der Umsetzung und dem Betrieb des Geschäftsmodells verbunden sind.
   Leitfrage: *Was kostet es, unser Geschäftsmodell zu betreiben?*

Top-Level Geschäftsmodell

Zu den Endanwendern des SOLP-Dienstes zählen in erster Linie Lkw-Fahrer, die einen Stellplatz suchen, um die vorgeschriebenen Ruhe- und Arbeitszeiten einzuhalten, sowie Disponenten in Transportlogistikunternehmen, die ihre Touren optimal planen und Liefertermine einhalten möchten. Die Anforderungsanalyse hat ergeben, dass es diese Anwendergruppen eindeutig bevorzugen den SOLP-Dienst integriert in die bereits vorhandenen Anwendungssysteme zu nutzen. Vorhandene Systeme mit Anwendungsmodulen für Lkw-Fahrer und Disponenten sind insbesondere Telematik- und Transportmanagementsysteme.

Vor diesem Hintergrund wurde das vorliegende **Geschäftsmodellszenario** für SOLP im Rahmen des Forschungsprojekts **für das Kundensegment der Telematiksystem-Anbieter** entwickelt. Es zielt auf die wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse nach Projektabschluss ab und ist auf eine Einführungs- und Etablierungsphase des SOLP-Dienstes von 18 Monaten ausgelegt. Dabei ist das initiale Geschäftsmodell in dieser Zeit auf Basis des Marktfeedbacks und neuer Erkenntnisse regelmäßig zu prüfen, zu aktualisieren oder auch anzupassen.

Als Grundlage für die Ausarbeitung des Geschäftsmodellszenarios hat das Projektteam eine Vision für SOLP formuliert und strategische Ziele für den betrachteten Zeitraum definiert:

- **Vision**

  "Eine digital vernetzte, resiliente Logistik, in der das Smart Optimized Lorry Parking als KI-gestützter intelligenter Datenservice Pausen und Parken, Sicherheit und Effizienz nahtlos in den Transportfluss integriert – für Menschen, Unternehmen und Gesellschaft gleichermaßen."

- **Strategische Ziele**
  - SOLP als führenden digitalen Datendienst und als führende Plattform, für KI-basierte Stellplatzprognosen in Deutschland etablieren und die Skalierung in Europe vorbereiten.
  - Durch Kunden und Partner im Bereich der etablierten großen Anbieter von Telematik- und Transportmanagementsystemen schnelle Marktverbreitung und hohe Reichweite bei den Endanwendern (Lkw-Fahrer, Transportlogistikunternehmen) sichern.
  - SOLP als Daten- und Service-Standard für Parkraumprognosen in Deutschland und Europa positionieren.
  - Beitrag zu besseren Arbeitsbedingungen für Lkw-Fahrer leisten.
  - Beitrag zu mehr Sicherheit, Effizienz und Nachhaltigkeit im Straßengüterverkehr leisten.

Auf dieser Basis und auf einer übergreifenden Betrachtungsebene wurden die Bausteine des BMC wie folgt ausgearbeitet.

zu 1): Kundensegmente (Customer Segments)

Das Geschäftsmodellszenario wurde für das Kundensegment der Telematiksystem-Anbieter erarbeitet. Dabei kann zwischen verschiedenen Anbieterkategorien unterschieden werden:

- Lkw-OEM mit werkseitiger Telematiksystem-Ausstattung
- Trailer-OEM mit werkseitiger Telematiksystem-Ausstattung nur teilweise mit Anwendungsmodulen für Lkw-Fahrer
- Unabhängige Anbieter von Telematiksystemen

Ein besonders hohes Interesse an der Nutzung des SOLP-Dienstes konnte im Rahmen der durchgeführten Workshops bzw. Arbeitssitzungen mit potenziellen Partnern bei der letztgenannten Kategorie der unabhängigen Anbieter von Telematiksystemen festgestellt werden.

zu 2): Wertangebote (Value Propositions)

Die Entwicklung des SOLP-Dienstes war im Rahmen der Projektlaufzeit auf die Prognose öffentlicher Stellplatz-Kapazitäten an Bundesautobahnen ausgerichtet. In der Einführungs- und Etablierungsphase des Dienstes nach Projektabschluss wird die Reichweite der Prognostik auf öffentliche Parkflächen neben Bundesautobahnen sowie privat bewirtschaftete und reservierbare Parkflächen mit Lkw-Stellplätzen sukzessive erweitert. Die notwendigen Daten hierfür stehen über die bestehenden Partnerschaften im Zeitverlauf zur Verfügung.

Als Kernleistung liefert der SOLP-Dienst auf dieser Basis seinerseits die folgenden Daten, die von Telematiksystemen über die SOLP-API abrufabhängig bezogen und in die eigene Anwendungslogik integriert werden können:

- **Prognose** über die Verfügbarkeit von Lkw-Stellplätzen auf Parkplätzen entlang der gefahrenen Route mit den folgenden Merkmalen:
  - Ampellogik (gelieferte Prognosewerte: grün, gelb, rot)
  - Zeithorizont der Vorausschau bis zu 2 Stunden in 15-Minuten Schritten
  - Berücksichtigung von Störungen wie Unfälle, Sperrungen und Staus (dynamische Prognostik)
  - Echtzeit
- Zu jeder Prognose: **Standort** und **Kategorie der betrachteten Parkfläche** als Basis zur Identifikation der relevanten Parkflächen für die anstehenden und notwendigen Parkvorgänge
  - Geodaten der betrachteten Parkfläche und Angabe zur Fahrtrichtung z. B. bei Rastanlagen an Autobahnen
  - Offizielle Stellplatz-Kapazitäten der betrachteten Parkfläche
  - Kennzeichnung: öffentliche oder privat bewirtschaftete Parkfläche (Hinweis: zum Projektabschluss noch nicht enthalten; Erweiterung im Betrachtungszeitraum vorgesehen)
  - Kennzeichnung: nicht-reservierbare oder reservierbare Parkfläche (Hinweis: zum Projektabschluss noch nicht enthalten; Erweiterung im Betrachtungszeitraum vorgesehen)
- Zu jeder Prognose: **Service- und Sicherheitsmerkmale** der betrachteten Parkflächen als Basis für Filter- und Auswahlfunktionen (Hinweis: spezifische Sicherheitsmerkmale zum Projektabschluss noch nicht enthalten; Erweiterung im Betrachtungszeitraum vorgesehen)
- Indikation für **Reservierung**

Die Umsetzung der durch den SOLP-Dienst bereitgestellten Daten in zusätzliche oder erweiterte Park- oder Planungsservices der Telematiksysteme schafft zunächst einen Mehrwert für die Endanwender dieser Services, also die Kunden der in diesem Geschäftsmodell betrachteten Kundengruppe der Telematiksystem-Anbieter. Gleichzeitig entstehen dadurch aber auch Mehrwerte für die Systemanbieter selbst.

Die zu erwartenden Effekte bei den Endanwendern und den Telematiksystem-Anbietern sind nachfolgend beschrieben.

Mehrwerte für **Lkw-Fahrer**:

- Bessere Gesundheit und Gesundheitsschutz durch die Reduktion von Zeitdruck und Stress bei der Stellplatzsuche
- Senkung des persönlichen Unfallrisikos durch Vermeidung von verkehrswidrigem Parken
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch vereinfachte Stellplatzsuche und -auswahl
- Senkung des Überfall- und Diebstahlrisikos durch Transparenz über sichere Parkflächen

Mehrwerte aus der Perspektive der Geschäftsführung und Disponenten in **Transportlogistikunternehmen** (mit eigener Flotte und Fahrern; auch Eigenlogistiker):

- Kosteneinsparung durch Verkürzung der Parksuchzeiten und Vermeidung von Strafen bei Lenkzeitüberschreitungen
- Steigerung der Kundenzufriedenheit durch optimierte Tourenplanung und bessere Einhaltung der Lieferzeiten
- Steigerung der Fahrerzufriedenheit und der Attraktivität als Arbeitgeber durch die Schaffung besserer Arbeitsbedingungen

Mehrwerte für **Telematiksystem-Anbieter:**

- Kundengewinnung und Stärkung der Kundenbindung durch die Erweiterung des eigenen Leistungsprofils mit einem Service von hoher Relevanz für die eigenen Kunden.
  Hierbei: Potenzial für First Mover Effekte
- Ressourcenschonende und schnelle Erweiterung des eigenen Leistungsprofils durch Service-Integration
- Imagegewinn durch die Positionierung in einem aktuell öffentlich viel diskutierten und äußerst dringenden Handlungsfeld der eigenen Kunden

zu 3): Kanäle (Channels)

Die Anforderungsanalyse hat einerseits ergeben, dass der Markt für Telematiksysteme sehr fragmentiert und durch eine hohe Anbieterzahl geprägt ist. Andererseits konnte festgestellt werden, dass der Marktanteil der 10-15 großen Anbieter bezogen auf die mit Telematik ausgestatteten Transportlogistikunternehmen und deren Flotten hoch ist.

Für den Marktzugang wurden daher im Geschäftsmodell die folgenden Kanäle vorgesehen:

- Persönliche Direktansprache der großen Systemanbieter
- SOLP-Demoanwendung
- Website und andere digitale Kanäle (u.a. Podcasts, Social Media Beiträge)
- Klassische Medien der Logistikbranche
- Messen und andere Branchenveranstaltungen

zu 4): Kundenbeziehungen (Customer Relations)

Die Integration des SOLP-Dienstes in bestehende Telematiksysteme bildet in vielerlei Hinsicht die Grundlage für den Aufbau und die vertrauensvolle Entwicklung einer stabilen und engen Kundenbeziehung. Wesentliche Aspekte zur Gestaltung der Kundenbeziehung sind darüber hinaus:

- Regelmäßige Feedbackschleifen zur Nutzung des SOLP-Dienstes
  und kontinuierliche Weiterentwicklung der SOLP-Plattform und Services
- Co-Development von Services
- Kundenportal mit Informations- und Unterstützungsservices

zu 5): Einnahmequellen (Revenue Streams)

Für den Betrachtungszeitraum ist eine Testphase und ein Freemium-Modell zum Markteintritt mit einem kostenfreien Basisdienst als Adoptionstreiber und der anschließenden Einführung eines kostenpflichtigen Premiumdienstes geplant.

Für den kostenpflichtigen Premium-Dienst sind folgende Erlösmechanismen vorgesehen:

- B2B-subscription (monatlich, jährlich)
- Transaktions- bzw. abrufabhängige Gebühren (Abrufkontingente mit Staffelpreisen, Einzelabrufe)
- Integrationsunterstützung für Partner bzw. Kunden (Paketpreise, Verhandlungspreise)
- Individuelle Datenservices für Partner bzw. Kunden (Paketpreise, Verhandlungspreise)

zu 6): Schlüsselressourcen (Key Resources)

Im Rahmen der Ausarbeitung der internen Aspekte eines zukünftigen Unternehmens wurden für die erfolgreiche Einführung und Etablierung der SOLP-Dienste die folgenden Schlüsselressourcen definiert:

- Finanzmittel für die Phase des Transfers der Forschungsergebnisse in die betriebliche Praxis
- Markenbekanntheit und Reputation von Kunden und Endanwendern
- KI-Architektur und Modelle
- SOLP-Plattform und Dienste
- Kundenportal
- Relevante Daten
- Personal (Projekterfahrung; relevante Skills)

zu 7): Schlüsselaktivitäten (Key Activities)

Neben den Schlüsselressourcen wurden für den Betrachtungszeitraum die wesentlichen Schlüsselaktivitäten bestimmt:

- Akquisition der erforderlichen Finanzmittel für den Transfer der Projektergebnisse in eine stabile betriebliche Praxis
- Marketing und Vertrieb für Markenbekanntheit und die schnelle Marktdurchdringung
- Entwicklung und robuster Betrieb der SOLP-Plattform und Dienste
- Systematische Optimierung der Prognosequalität
- Skalierung mit Fokus auf die Parkflächen und europäischen Länder mit Prognosedaten

zu 8): Schlüsselpartnerschaften (Key Partner)

Für die erfolgreiche Einführung und Etablierung der SOLP-Dienste sind die folgenden Schlüsselpartnerschaften von hoher Bedeutung:

- FHHI als Lizenzgeber
- Anbieter von Telematik- und Transportmanagementsystemen
- Technologieanbieter (u.a. aus den Bereichen IOT, Sensorik, Kamerasysteme)
- Datengeber

- Parkplatzbetreiber
- Ministerien und Behörden mit Themenbezug
- Verbände und Branchenorganisationen

zu 9): Kostenstruktur (Cost Structure)

Die Kosten für den Betrachtungszeitraum von 18 Monaten in 2025/2026 sind auf € 1,5 Mio. kalkuliert worden. Die notwendigen Mittel werden dabei strukturell wie folgt verwendet:

- Produktentwicklung 50%:
  Service-Design, KI-Modellierung und Optimierung, Softwareentwicklung, Partnerintegration
- Markterschließung 30%:
  Marketing, Vertrieb, Partnerschaften
- Operations 20%:
  Infrastruktur, Betrieb, Administration

Die nachfolgende Abbildung fasst die initiale Ausprägung des Geschäftsmodells in der Darstellung des BMC noch einmal zusammen.

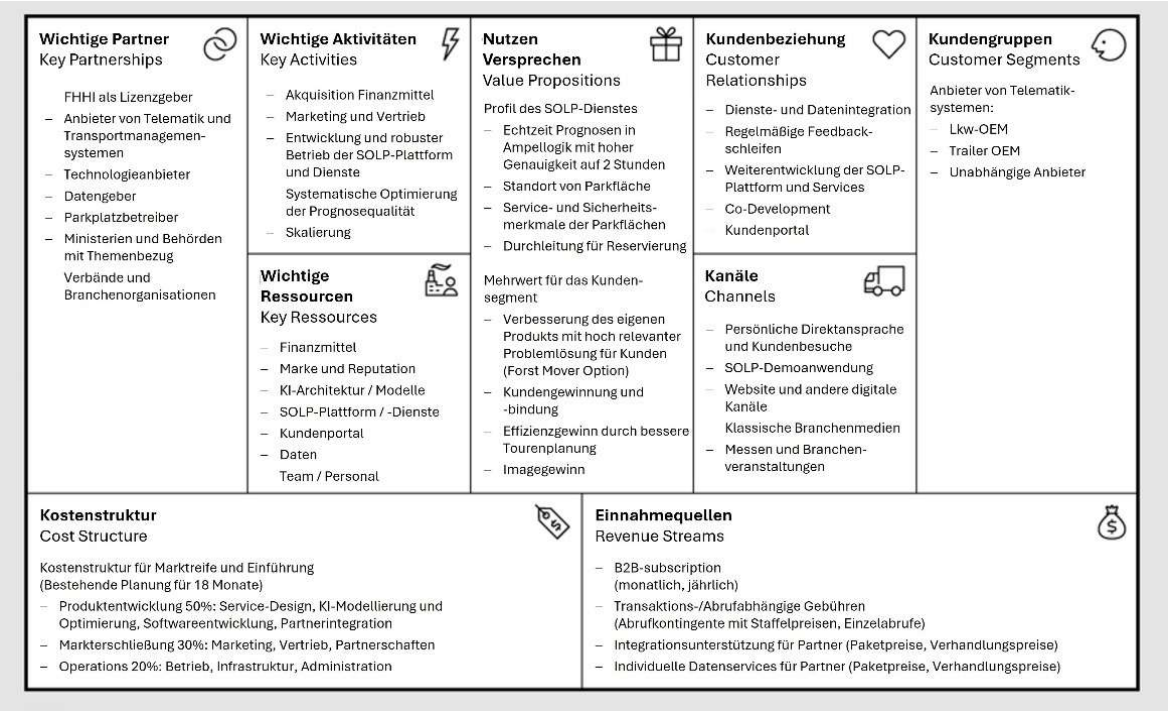

Abbildung 9: SOLP-Geschäftsmodell für die Kundengruppe der Telematiksystem-Anbieter

2.1.1.7 Kommunikation

Zielsetzung

Die Disseminationsaktivitäten im Projekt haben das Ziel verfolgt, die Sichtbarkeit des Projektes zu erhöhen, Stakeholder zu informieren, Partner zu gewinnen, die gesellschaftliche Relevanz von KI-gestützten Lösungen für besseres Lkw-Parken zu kommunizieren und den Erfahrungsaustausch in der Begleitforschung zu pflegen.

Öffentlichkeitsarbeit

Zu Beginn des Projekts wurden relevante Fachveranstaltungen (z. B. Messen, Kongresse, Seminare) recherchiert. Auf dieser Basis haben BLUE und KRAVAG einen **Kommunikationsplan** zur frühzeitigen Organisation der Teilnahme sowie zur zielgerichteten und effizienten Öffentlichkeitsarbeit erstellt und während der Projektlaufzeit in gemeinsamen Abstimmungsrunden fortgeschrieben. Für Vorträge oder Präsentationsunterlagen wurden die Projektergebnisse anschaulich aufbereitet.

Die im Kommunikationsleitfaden des mFUND-Programms festgelegten Anforderungen hat das Projektteam fristgerecht erfüllt. Darüber hinaus haben die Projektpartner in verschiedenen Fachbereichen eng mit den assoziierten Partnern zusammengearbeitet, wie beispielsweise bei der **Veröffentlichung von Fachartikeln** und **Pressemitteilungen** in der Transport Online 2022 (Bradl 2022) oder der BG Verkehr und Brancheninfo 2024 (BG Verkehr 2024). Weiteres Interesse an SOLP zeigten abseits der branchentypischen Publikationsorte auch das ZDF sowie die WELT (WELT 2024) und das Portal heise online (Reckeweg 2024).

Das SOLP-Projekt wurde auf **Fachveranstaltung** wie dem Tag der Logistik oder dem Architekturforum in Hamburg vorgestellt, im Unternehmerbeirat der KRAVAG aber auch auf spezifischen Events wie dem „Fernfahrerstammtisch“ in Lüneburg und Günzburg in Edelstetten präsentiert. Ein fachlicher **Austausch im Rahmen der Begleitforschung** hat zudem beispielsweise bei einem mFUND Workshop unter dem Titel „Efficient and sustainable freight logistics“, mit dem mFUND Projekt „Staffel“ oder in Sitzungen mit dem Förderprogramm „Smart Mobility@Rheinhafen in Krefeld“ stattgefunden.

Bedeutende Veranstaltungen, die zwecks Vernetzung innerhalb der relevanten Branchen besucht wurden, waren die transport logistic in München in den Jahren 2023 und 2025, die Logistics Summit in Düsseldorf im Jahr 2023 und die IAA Transportation in Hannover im Jahr 2024.

An den folgenden Veranstaltungen und Messen hat das Projektteam teilgenommen:

Veranstaltung / Messe	Monat/Jahr
mFUND-Konferenz 2022: Dateninnovationen für eine umwelt- und klimafreundliche Mobilität	09/2022
Online-Veranstaltung „Dialog für Stakeholder, Partner und Unterstützer“	03/2023
transport logistic 2023 in München	05/2023
Online-Veranstaltung „Dialog für Stakeholder, Partner und Unterstützer“	09/2023
Gipfeltreffen der Transport- und Logistikbranche „Fahren für Deutschland“ in München, veranstaltet von MAN Truck & Bus	11/2023
mFUND-Konferenz: Mobilität für alle: Open Data für einen inklusiven Verkehrssektor	12/2023
DVR Arena in Berlin	12/2023
Online-Veranstaltung „Dialog für Stakeholder, Partner und Unterstützer“	02/2024
Unternehmerbeirat der KRAVAG Versicherung in Hamburg	04/2024
Sitzung des Verkehrsausschusses der IHK Stuttgart	04/2024

Veranstaltung / Messe	Monat/Jahr
Monatliche Online-Sitzungen mit Toll Collect	Ab 04/2024
Web-Sessions der DVR-Arbeitsgruppe „Lkw Parken“	Ab 04/2024
IAA Transportation in Hannover	09/2024
17. Architekturforum in Hamburg	11/2024
Online-Veranstaltung „Dialog für Stakeholder, Partner und Unterstützer“	01/2025
Unternehmerbeirat der KRAVAG Versicherung in Hamburg	04/2025
Tag der Logistik 2025	04/2025
mPACT-Fachaustausch "Künstliche Intelligenz"	05/2025
transport logistic 2025 in München	06/2025
Abschlussveranstaltung des Projekts	06/2025

Tabelle 4: Veranstaltungen und Messen mit der Teilnahme oder Präsentation von SOLP

Weiterhin fanden auf den **Social Media-Kanälen der Konsortialpartner** jeweils vor- und nach den Veranstaltungen Postings statt, die auf die Besuche und Vorträge auf den jeweiligen Veranstaltungen Bezug genommen haben. Zu den Meilensteinen des Projektes wurde ebenfalls auf der eigenen **Webseite** unter der Rubrik „Aktuelles“ kommuniziert (BLUE Consult 2022) und eine Projektbeschreibung auf den Webpräsenzen der Konsortialpartner eingepflegt.

2.1.2 Arbeitspaket 2: Ermittlung der Parkplatzbelegung

Um das Belegungsverhalten von Lkw-Parkplätzen mittels KI-basierter Verfahren modellieren zu können, werden die **Belegungsdaten** von Beispiel-Parkplätzen benötigt. Diese Auswahl von Beispiel-Parkplätzen sollte repräsentativ sein, d.h. die Vielfalt der Parkplätze (Lage an der Autobahn, Kapazität, Ausstattung etc.) sollte durch diese Auswahl repräsentiert werden. Der Belegungsgrad sollte mit einer genügend feinen zeitlichen Auflösung vorliegen; als hinreichend wird eine zeitliche Auflösung von 15 Minuten pro Messung gesehen.

Datenerfassung bestehender Verfahren über das MDM-Portal bzw. die Mobilithek

Zu Projektbeginn stand nur der **MDM Mobilitäts Daten Marktplatz** – Portal service.MDM-portal.de (Vorläufer der Mobilithek) zur Verfügung, der 8 Datenquellen zur Lkw-Parkplatzbelegung anbot. Dieses Portal wurde gesichtet. Für 7 dieser 8 Quellen wurde eine Subscription angefordert; d.h. ein Abonnement für den kosten-freien Download der Daten. Von den 7 Anfragen wurden 6 Subscriptionen freigeschaltet, von denen nach Sichtung der Daten vier untersucht wurden.

Eine genauere Prüfung der Datenquellen zur Parkplatzbelegung zeigte teilweise einen hohen Anteil von fehlenden Daten und bei zwei Quellen eine geringe Zahl von Parkplätzen (z. B. 1 auswertbarer von drei Parkplätzen), so dass letztlich nur die Belegungsdaten von Lkw-Stellplätzen auf Parkplätzen in Bayern für eine Analyse geeignet waren. Der Datenlieferant ist die Bayerische Straßenbauverwaltung – Zentralstelle für Verkehrsmanagement von der Autobahn GmbH des Bundes. Es waren die aktuellen Belegungszahlen von 20 Parkplätze verfügbar, die sich auf der A9 zwischen Nürnberg und München befinden, und diesen Teil der Autobahn vollständig abdecken, was für eine Analyse relevant ist, da es Wechselwirkungen zwischen beieinanderliegenden Parkplätzen gibt.

Neben den **aktuellen Daten zum Belegungsgrad**, die seit Juni 2022 erfasst wurden, konnten das Projekt im Jahr 2022 von der Autobahn GmbH für die oben genannten 20 bayerischen Parkplätze auf der A9 auch **historische Belegungsdaten** aus den Jahren 2020 und 2021 erhalten. Ein Nutzungsvertrag wurde vereinbart und unterzeichnet. Im gleichen Jahr wurde der MDM durch die Mobilithek ersetzt und die Datenquellen des MDM vom Betreiber in die Mobilithek portiert. Entsprechend wurden die Zugriffsroutinen an die neue Mobilithek angepasst.

Fazit: Für 20 bayerische Parkplätze lagen aktuelle Belegungsdaten in sehr guter zeitlicher Auflösung vor, historische Daten wurden für die Jahre 2020 und 2021 geliefert. **Für** diese **20 Parkplätze konnten erste KI-basierte Prognosesysteme entwickelt werden** (siehe Arbeitspaket 4 unter 2.1.4). Eine Übertragung des Netzwerkes auf andere Parkplätze (Generalisierbarkeit) war fragwürdig, da das Netzwerk auf die spezifischen Eigenschaften der A9 zwischen München und Nürnberg trainiert wurde. Daher musste nach weiteren Datenquellen Ausschau gehalten werden.

Satellitenbasierte Verfahren

Um das Belegungsverhalten für eine breitere Basis an repräsentativen Parkplätzen zu erhalten, wurden satellitenbasierte Verfahren in Betracht gezogen.

Im Jahr 2022 wurden mehrere Unternehmen kontaktiert, unser Anliegen (Aufnahmen von Lkw-Parkplätzen) wurde vorgetragen, teils wurden Testzugänge eingerichtet bzw. für Beispielregionen wurde ermittelt, wieviel Satellitenaufnahmen hierzu existieren.

Dies waren:

- up42 (www.up42.com)
- Maxar Technologies (www.maxar.com)
- CapellaSpace (www.capellaspace.com)
- Planet Labs PBC (www.planet.com)
- BKG/SKD (www.bkg.bund.de)

Der Kontakt zu den oberen drei Firmen wurde nach Prüfung von Testaufnahmen auf Eis gelegt. Es zeigte sich, dass die Aufnahmen aufgrund der geringen zeitlichen Dichte (oft weit weniger als eine Aufnahme am Tag) zur Ermittlung des Belegungsverhaltens nicht geeignet waren. Auch ist die Akquise der Aufnahmen teils mit hohen Kosten verbunden.

Von Planet Labs kam der Hinweis, dass das FHHI als öffentliche Einrichtung kostenfrei Satellitendaten über einen Vertrag von Planet Labs mit der Bundesregierung beziehen kann. Ausgeführt wurde die Datenbereitstellung durch das **Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)**, hier speziell durch den Satellitengestützten Krisen- und Lagedienst (SKD). Daher wurde Kontakt zum BKG/SKD aufgenommen. Nach einer Anfrage wurden Lizenzvereinbarungen zwischen dem FHHI und dem BKG/SKD unterzeichnet und die Datenbereitstellung genehmigt. Abgefragt werden können kostenfrei PlanetScope und SkySat-Aufnahmen.

Auch wenn aufgrund der **geringen zeitlichen Dichte** und dem „**ungünstigen“ Aufnahmezeitraum** morgens zwischen 10 bis 12 Uhr – interessant ist eher der Zeitraum 15 – 18 Uhr – die **Satellitenaufnahmen kaum geeignet** sind, hielten wir uns diese Möglichkeit zur Auswertung in der Rückhand.

Maut-Daten

Die Maut ist eine Verkehrsabgabe für Lkw mit mindestens vier Achsen. Die Lkw-Maut wird streckenbezogen berechnet und gilt auf deutschen Autobahnen und Bundesstraßen. Die fälligen Gebühren werden von dem öffentlichen Unternehmen Toll Collect GmbH mit Sitz in Berlin abgerechnet. Bei der Erhebung der Maut wird der genaue Verlauf der Fahrten der Lkw erfasst. Allerdings gibt es einen sehr starken Datenschutz. Im Mittelpunkt steht die Zweckbindung aller erhobenen Daten: Sie werden ausschließlich für die Gebührenabrechnung verwendet. Die Weitergabe an Dritte war zum damaligen Zeitpunkt (bis 2023) laut Gesetz ausdrücklich untersagt. Da die Toll Collect GmbH ca. 75% der Lkw-Fahrten erfasst und daraus den Belegungsgrad von fast allen Lkw-Parkplätzen an Autobahnen und Bundesstraßen ermitteln kann, wäre eine solcher Datensatz von sehr großem Wert für eine Analyse.

Wir hatten schon im Jahr 2022 Kontakt zur Toll Collect GmbH aufgenommen und die Möglichkeit besprochen, anonymisierte Daten zum Belegungsgrad von Lkw-Parkplätzen, die sich aus den Maut-Daten berechnen lassen, für Projektzwecke zu erhalten. Durch die jüngste **Neuregelung im Bundesfernstraßenmautgesetz gegen Ende des Jahres 2023** war es im Rahmen der Mauterhebung möglich, anonymisierte Daten auch für statistische Zwecke und für Zwecke des Verkehrsmanagements zu verwenden. Aufgrund dieser Neuregelung hat uns **Toll Collect** im Januar 2024 **Belegungsdaten von 1.459 Parkplätzen** für die Zeiträume jeweils zwei Wochen im Dezember 2019 und im Januar 2020 geliefert. Diese Daten wurden zu dieser Zeit von der Toll Collect GmbH zu Testzwecken aus dem Fahrverhalten auf MAUT pflichtigen Straßenabschnitten berechnet.

Dies eröffnete damals Möglichkeiten das für zunächst 20 Parkplätze trainierte KI-Prognosemodell in Bezug auf diese Daten neu zu trainieren und den Gültigkeitsbereich der Modellierung auf wesentlich mehr Parkplätze deutschlandweit zu erweitern (siehe Arbeitspaket 4 unter 2.1.4).

Implementation der als geeignet beurteilten Verfahren

Für die Erfassung der über den MDM und später über die Mobilithek angebotenen Belegungsdaten wurde ein Softwaremodul implementiert. Dieses lädt im 5 Minutentakt die Belegungsdaten und speichert diese in einer Datenbank (siehe Arbeitspaket 3 unter 2.1.3) ab. Die Erfassung der aktuellen Belegungsdaten erfolgte seit Anfang Juni 2022. Die historischen Belegungsdaten wurden von der Autobahn GmbH als csv-Datei geliefert und in Form einer Datenbanktabelle abgespeichert.

Die Erfassung von Satellitenaufnahmen wurde im Jahr 2022 in Zusammenarbeit mit der BKD/SDK ein Skript geschrieben, welches einen automatischen Abruf von Satellitenbildern ermöglicht. Auf diese Weise sind Anfragen möglich, die nach Vorgabe eines AOI (area of interest) und einem Zeitrahmen, Satellitenaufnahmen von diesem Gebiet liefern. Es können nur Bilder von optischen Satelliten abgefragt werden, meist zwischen 15 bis 27 Aufnahmen im Monat, max. eine Aufnahme am Tag zwischen 9 und 11 Uhr. Die Auflösung beträgt 3,7 m.

Die von der Toll Collect GmbH für Forschungszwecke zur Verfügung gestellten historischen Belegungsdaten wurden in einer weiteren Datenbanktabelle abgespeichert.

2.1.3 Arbeitspaket 3: Datenakquise, Datenintegration und Datenbereitstellung

Metadatenmanagement

Zu Beginn des Projektes wurde der im Projektantrag aufgeführte Server angeschafft und für die KI-Analyse mit den dafür notwendigen Programmen und Werkzeugen eingerichtet.

Um eine Analyse durchführen zu können, müssen die für die Projektziele relevanten Daten heruntergeladen und in einem einheitlichen Format gespeichert werden. Es wurden für jede Datenquelle zwei Softwaremodule implementiert. Ein Fetcher-Modul baut eine Verbindung zu der Datenquelle auf und lädt die relevanten Daten herunter, das Storage-Modul formt diese Daten in ein **einheitliches Datenformat** um und speichert diese in einer PostgreSQL-Datenbank ab. Dieser **modulare Aufbau garantiert** eine **Erweiterbarkeit des Systems** für weitere Datenquellen.

Für jede Datenquelle wurde jeweils eine statische und eine dynamische DB-Tabelle angelegt. Die statische Tabelle enthält die Geokoordinaten sowie Eigenschaften der Sensoren (z. B. Zählschleifen, Scanner zur Erfassung des Belegungsgrades). Die dynamische Tabelle erfasst permanent die Sensorwerte zusammen mit dem Mess-Zeitpunkt und ist mit der entsprechenden statischen Tabelle verlinkt.

Der Aufbau der PostgreSQL-Datenbank erlaubte die Zusammenstellung beliebiger Datensätze für die weitere Analyse. Es können Abfragen über Zeiträume und Regionen über mehrere Tabellen gestartet werden und die Daten, angepasst an die Analyse, aufbereitet werden.

Softwaremodule zur Erfassung und Speicherung von Verkehrsflussdaten

Die Sichtung der neuesten Publikationen hatte gezeigt, dass der **Verkehrsfluss ein entscheidender Faktor bei der Belegung von Parkplätzen** spielt. Besondere Ereignisse, wie z. B. Unfälle, Staus, extreme Wetterereignisse etc. machen sich direkt über die Änderung des Verkehrsflusses bemerkbar und haben über diesen Weg einen Einfluss auf das Belegungsverhalten von Parkplätzen. Daher konzentrierten sich die Arbeiten in Arbeitspaket 3 hauptsächlich auf die Akquise von Verkehrsflussdaten.

Die **Mobilithek** bietet für eine Reihe von Bundesländern **aktuelle Verkehrsflussdaten** an. Dabei werden über Zählschleifen die Anzahl und Art der Fahrzeuge sowie deren Durchschnittsgeschwindigkeit in einem Zeittakt zwischen einer bis fünf Minuten erfasst. Es wurden Softwaremodule zur Erfassung des aktuellen Verkehrsflusses für die Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Hessen implementiert. Diese Softwaremodule speichern permanent die aktuellen Verkehrsflussdaten in der postgreSQL-Datenbank ab. Bei den Bundesländern Schleswig-Holstein und Thüringen sind die erfassten Daten lückenhaft oder unvollständig.

Historische Verkehrsflussdaten können über die **Website des BASt** jahresweise als csv-Dateien abgerufen werden. Die Daten decken die Zählschleifen der Autobahnen und Bundestraßen von ganz Deutschland ab, sind aber nur im Stundentakt und umfassen nur die Anzahl der Fahrzeuge, nicht die Geschwindigkeit. Die Zählschleifendaten der Jahre 2019 bis 2021 wurden in der postgreSQL-Datenbank abgespeichert.

Softwaremodule zur Erfassung und Speicherung von Telematik- und Straßendaten

Zu Beginn des Projektes wurde eine **Tabelle für die Lkw-Parkplätze an Autobahnen und Bundesstraßen** in Deutschland generiert. Die Ausgangdaten hat der Konsortialpartner BLUE als csv-Datei geliefert. Die BLUE hat diese Daten aus mehreren Quellen, hauptsächlich über eine **API der Autobahn GmbH des Bundes,** gewonnen und zusammengeführt. Die Lkw-Parkplätze werden über die Geoposition, der Anbindung zu einer Autobahn oder Bundesstraße, der Kapazität sowie über 20 weiteren Ausstattungsmerkmale charakterisiert.

Außerdem wurde **das Straßennetz samt Parkplätzen und Zählschliefen als mathematischer Graph modelliert**. Als Basis wurde eine Liste von Straßenabschnitten auf Autobahnen und Bundesstraßen verwendet, die über OpenStreetMap verfeinert und mit Parkplätzen und Zählschleifen ergänzt wurde. Der Graph wurde in zwei Tabellen (Straßenknoten, Parkplätze und Zählschleifen als Knoten und Verbindungen dazwischen als Kanten) abgespeichert.

Die BLUE hat mit einer Reihe von Telematik-Anbietern Kontakt aufgenommen und Partnerschaften vereinbart. Telematik-Daten, die die Fahrroute von Lkw erfassen oder anonymisiert punktuelle Aufenthaltspunkte von Lkw angeben, können für die Analyse von Interesse sein. Von zwei Anbietern, der co2opt GmbH und der Krone GmbH haben wir Testdaten erhalten. Aus diesen Daten ließen sich aufgrund der zu geringen Anzahl der Lkw von unter 10% keine brauchbaren Informationen zur Belegung der Rastanlagen ableiten.

2.1.4 Arbeitspaket 4: Datenanalyse

Modellierungen auf Basis der historischen Belegungsdaten auf Rastanlagen der A9 zwischen München und Nürnburg

Im Jahr 2022 waren bzgl. der Belegung von Lkw-Parkplätzen nur die historischen Daten der Autobahn GmbH aus den Jahren 2020 und 2021 für 20 Parkplätze auf der A9 zwischen München und Nürnberg verfügbar. Diese Daten, die die Anzahl der freien sowie der freien „geduldeten“ Stellplätze angaben, lagen im Minutentakt vor. Außerdem lagen historische Daten bzgl. des Verkehrsflusses von der BASt für diesen Zeitraum vor. Die Verkehrsflussdaten gaben für ca. 30 Zählschleifen auf dem entsprechenden Abschnitt der A9 im Stundentakt die Anzahl der vorbeifahrenden Lkw an. Diese Daten bildeten die Grundlage für erste KI-basierte Modellierungen.

Ziel der ersten Modellierung war die Prognose der freien Plätze für diese 20 Parkplätze für die nächsten zwei Stunden. In einem Vorverarbeitungsschritt wurden sowohl die Belegungsdaten als auch die Verkehrsflussdaten auf Zeitreihen mit einem Zeittakt von 15 Minuten transformiert. Die Prognose wird entsprechend auch in 15 Minuten-Schritten ausgegeben.

Bei den historischen Belegungszahlen, die von der Autobahn GmbH geliefert wurden, wurde zwischen regulären und geduldeten Stellplätzen unterschieden. Dadurch ergeben sich für jeden Parkplatz zwei Kurven. Für beide Arten wurde eine Prognose modelliert.

Die Kurven der freien Stellplätze für einen Lkw-Parkplatz zeigen an Werktagen ein charakteristisches Verhalten. Über Nacht sind meist alle Stellplätze belegt, meist morgens ab 4 Uhr verlassen die ersten Lkw den Parkplatz und erste Stellplätze werden frei. Diese Kurve nimmt bis zur Mittagszeit zu, um dann am Nachmittag wieder abzunehmen. Je nach Wochentag, Verkehrslage, Parkplatz wird der Parkplatz zwischen 16 und 20 Uhr voll, zunächst die regulären Stellplätze und etwas später die „geduldeten“ Stellplätze. An Samstagen ist diese Kurve der freien Stellplätze etwas kleiner ausgeprägt, während sie an Sonn- und Feiertage wegen des Sonntagsfahrverbotes eine geradlinige Kurve darstellt. Von Bedeutung bei der Prognose ist der Zeitpunkt, an dem die regulären und danach auch die geduldeten Stellplätze voll sind. Diese Zeitpunkte (Kipppunkte) sind von großer Wichtigkeit für den Lkw-Fahrer, der im Allgemeinen am späten Nachmittag oder frühen Abend einen freien Stellplatz sucht. Basierend auf diesen Kipppunkten wurde ein Empfehlungssystem aufgestellt, welches an den Farben einer Ampel angelehnt ist. So bedeutet grün, dass noch reguläre Stellplätze zu einem Prognosezeitpunkt vorhanden sind, bei gelb gibt es zwar keine regulären, aber noch geduldete freie Stellplätze, bei rot gibt es weder reguläre noch geduldete freie Stellplätze, der Parkplatz ist also definitiv voll.

Die Trennung nach einem Prognosesystem für den Verkehrsfluss und einem Prognosesystem für die Parkplatzbelegung hat sich als wenig sinnvoll erwiesen, vielmehr wurde der **Schwerpunkt auf ein Tiefes Neuronales Netz (EncoderDecoder-Modell)** gelegt**,** welches **modular aufgebaut** ist. Auf Encoderseite werden die verschiedenen Einflussparameter, statische wie bisherige Kurvenverläufe zugeschaltet, auf Decoderseite erfolgt die Prognose in die Zukunft. Dadurch war es möglich, verschiedene Varianten zu modellieren und so die Relevanz verschiedener Einflussparameter einzeln bzw. in Kombination zu evaluieren.

Für den betrachteten A9 Autobahnabschnitt wurde jede Richtung gesondert durch ein Tiefes Neuronales Netz modelliert. Es liegen für die beiden Richtungen München nach Nürnberg und umgekehrt jeweils 10 Lkw-Parkplätze vor. Zwischen diesen liegen die Zählschliefen, verteilt über den Autobahnabschnitt. Die Anzahl der freien regulären wie geduldeten Stellplätze der einzelnen Parkplätze wurde in der Reihenfolge der Lage auf der Autobahn in einem Vektor zusammengefasst. Auf diese Weise konnten auch **Wirkungen zwischen der Belegung benachbarter Parkplätze abgebildet** werden. Auf die gleiche Weise wurden die Verkehrsflussdaten aufbereitet. Bei der **Prognosegüte** wurde die **L1-Norm** (Differenz vorhergesagter freier Stellplätze) verwendet. Diese ist geeignet, um die Modelle zu trainieren. Besser geeignet auf den Anwender bezogen ist eine Bewertung, die auf dem Empfehlungssystem in den Ampelfarben basiert. Diese berücksichtigt die Tatsache, dass es z. B. zur Mittagszeit keine Rolle spielt, ob auf einem Parkplatz noch 20 oder 30 Stellplätze (beide grün) frei sind, es jedoch am späten Nachmittag von Bedeutung ist, ob noch 2 (gelb) oder kein geduldeter Parkplatz (rot) frei ist.

Folgende Modellvarianten, aufgeschlüsselt nach dem Vorhandensein von Einflussparameter als Eingabe wurden umgesetzt und evaluiert:

1. **rein zeitliche Parameter**

Der typische Verlauf der Anzahl der freien Stellplätze von Lkw-Parkplätzen, deutet daraufhin, dass die Tageszeit sowie der Wochentag ein wichtiger Indikator sind. Auch die Tatsache, ob ein Feiertag vorliegt, spielt eine Rolle. Feiertage verhalten sich wie Sonntage. Aufgrund dieser zeitlichen Parameter können **grobe Prognosen** erstellt werden. Dies wurde auch durch ein Modell nachgewiesen.

2. **Zeitliche Parameter und Anzahl der freien Stellplätze der letzten 24 Stunden**

Liegen zu den Parkplätzen die Zeitreihe der freien Stellplätze der letzten 24 Stunden vor, so kann encoderseitig über ein recurrent neural network mit GRU (Gated Recurrent Unit)-Elementen der spezielle Verlauf der freien (reguläre und geduldete) Stellplätze gelernt werden, um dann zusammen mit den zeitlichen Parameter decoderseitig diese Zeitreihe fortzusetzen. Dieses Netzwerk zeigte **sehr gute Ergebnisse**, war aber zur damaligen Zeit nicht bundesweit durchführbar, weil es voraussetzt, dass für jeden Lkw-Parkplatz an Autobahnen und Bundesstraßen, ein System zur Messung der Belegung installiert ist, was nicht der Fall ist. Diese Modellierung diente daher als **Referenz für andere Modellvarianten**.

3. **Eingabe zeitlicher Parameter und des Verkehrsflusses der letzten 24 bzw. 48 Stunden**

Liegen nur Verkehrsflussdaten der letzten 24 vor, also die Anzahl der Lkw, die pro Stunde über Zählschleifen fahren, so kann mit einem ähnlich aufgebauten Encoder-Decoder-Modell wie in Variante 2, eine Prognose der freien Stellplätze für die 20 Parkplätze auf der A9 durchgeführt werden. Allerdings ist diese **Modellierung genauer als die Variante 2**. Der Verkehrsfluss hat einen Einfluss auf das Parkverhalten, insofern ist diese Modellierung, dort wo Verkehrsflussdaten vorliegen, von Nutzen.

Allerdings haben wir festgestellt, dass die Prognose an Wochenenden, insbesondere an Sonn- und Feiertagen sehr ungenau wird. Dies hängt damit zusammen, dass der Verkehrsfluss bzgl. Lkw an Sonn- und Feiertage wegen des Sonntagsfahrverbots zum Erliegen kommt. Die Anzahl der freien Stellplätze an Sonn- und Feiertagen wird durch das Parkverhalten am Tag oder zwei Tage zuvor bestimmt. Daher haben wir noch die Variante erforscht, bei der der Verkehrsfluss der letzten 48 Stunden als Eingabe verwendet wird. Die Variante führte zu etwas besseren Ergebnissen an Sonn- und Feiertagen.

Fazit: Diese Modellierung ist zwar genauer, verwendet aber Verkehrsflussdaten, die zurzeit über die Mobilithek nur für die Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Hessen in aktueller Form bezogen werden können.

Die Autobahn GmbH, die ein assoziierter Partner des Verbundvorhabens SOLP war, plant im Rahmen des Projekts AutobahnOS, eine Vereinheitlichung und bundesweite Vervollständigung der Verkehrsflussdaten. Dieses Projekt hat begonnen und wird bis Ende 2026 andauern.

Modellierungen auf Basis der historischen Belegungsdaten von der Toll Collect GmbH

Im Januar 2024 wurden uns von der Toll Collect GmbH die Belegungsdaten von Rastanlagen auf 1.459 Autobahnabschnitten für die Zeiträume jeweils zwei Wochen im Dezember 2019 und im Januar 2020 für Forschungszwecke geliefert. Aus diesen Daten konnten die Belegungsdaten von ca. 1070 Rastanlagen berechnet werden.

Die Verfügbarkeit dieser Belegungsdaten eröffnete uns die Möglichkeit, KI-basierte Prognosemodelle auf historischen Daten zu erforschen und zu entwickeln. Mit der zusätzlichen Verfügbarkeit historischer Verkehrsflussdaten über die BASt (Durchflussdaten von ca. 2.000 Zählschleifen deutschlandweit im Stundentakt) konnten **verschiedene Modellvarianten** und der Einfluss von Eingangsdaten auf die Prognosegenauigkeit erforscht werden. Verschiedene Modellvarianten wurde für die Rastanlagen entlang der Autobahn A45 entworfen und erforscht. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, **für jede Autobahn ein eigenes Modell** zu trainieren, da sich die Lage der Rastanlagen und Zählschleifen entlang einer Autobahn, aber auch das Verkehrsaufkommen für jede Autobahn individuell verschieden ist und dies am besten durch ein **eigenes Modell gleicher Architektur aber mit individuellen Gewichtsparametern** trainiert werden kann. Die Prognose wurde in Form einer Ampelinterpretation ausgegeben. Grün bedeutet: es sind noch reguläre Stellplätze frei, gelb bedeutet: die regulären Stellplätze sind voll, aber es gibt noch geduldete Stellplätze und rot bedeutet, dass der Parkplatz keine geduldeten Stellplätze hat, d.h. er ist absolut voll. Die Prognose erfolgt für jeden betrachteten Parkplatz in Schritten von 15 Minuten für die nächsten 2 Stunden, d.h. es gibt 9 Farbwerte für jeden Parkplatz.

Folgende Modellvarianten wurden untersucht:

Variante 1: Nur **Zeitparameter** sind vorhanden.

Dieses Modell wurde für ca. 1.070 Parkplätze umgesetzt und die Ergebnisausgabe in die Wedolo-App integriert. Diese Variante lernt das allgemeine zeitliche Belegungs-verhalten, jedoch nicht das aktuelle Verhalten, welches von Gegebenheiten wie Stau, Verkehrsaufkommen und -fluss etc. beeinflusst wird. Diese Variante ist für Trendaussagen geeignet.

Variante 2: die **Belegungsdaten der letzten 24 Stunden** sind vorhanden.

Dieses Modell erfasst das aktuelle Verhalten des Tages und passt entsprechend die Prognose an. Angewandt auf historische Daten zeigt es eine deutliche Verbesserung der Prognose.

Variante 3: der **Verkehrsfluss der letzten 24 Stunden** der umliegenden Zählschleifen ist bekannt.

Durch die Berücksichtigung des Verkehrsflusses der letzten 24 Stunden durch die umliegenden Zählschleifen werden besondere Ereignisse wie Unfälle, Staus, hohes oder niedriges Verkehrsaufkommen berücksichtigt. Angewandt auf historische Daten zeigt sich eine signifikante Verbesserung der Prognose.

Variante 4: Belegungs- sowie Verkehrsflussdaten der letzten 24 sind bekannt.

Die Ergebnisse zeigen eine weitere Verbesserung der Prognosegenauigkeit gegenüber den Varianten 2 und 3.

Diese Modellvarianten konnten nur auf historischen Daten ausgewertet wurden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die **Verfügbarkeit von aktuellen Belegungs- und Verkehrsflussdaten von entscheidender Bedeutung für die Genauigkeit des Prognosesystems** ist. Aus Forschungssicht wurden die Ziele dieses Arbeitspaketes erreicht. Diese sind aber nicht auf aktuelle Daten anwendbar, weil während der Projektlaufzeit noch nicht verfügbar waren.

Eine Realisierung dieses Modells kann in Zukunft möglich werden. Die Toll Collect GmbH, die für ca. dreiviertel der Lkw die Fahrrouten erfassen, plant einen Stellplatzinformationsdienst (SID) zu entwickeln und zu implementieren, der die aktuelle Belegung der Lkw-Rastanlagen entlang der Autobahnen zeitnah angibt. Dies erfolgte über eine Beauftragung des BMDV, die Projektdurchführung wird wahrscheinlich noch bis Anfang 2026 andauern. Hierin besteht eine sehr große Chance über das beschriebene Verfahren eine hochgenaue aktuelle zweistündige Prognose für die Belegung der Lkw-Parkplätzen deutschlandweit durchführen zu können. Zur Projektlaufzeit stand der SID noch nicht zur Verfügung.

2.1.5 Arbeitspaket 5: Prototypische Realisierung der SOLP-Plattform und Dienste

Infrastruktur

Als Laufzeitumgebung für die bereitzustellenden Services wurde eine Kubernetes-Cluster-Infrastruktur eingerichtet, die auf einer VMware-Virtualisierungsumgebung betrieben wird. Dadurch können die **Anwendungen containerisiert**, **skalierbar** und **hochverfügbar** betrieben werden. Der externe **Zugriff aus dem Internet** erfolgt über eine **mehrstufige Absicherung**: Der eingehende Datenverkehr wird zunächst über Load Balancer verteilt, anschließend durch eine Web Application Firewall (WAF) gefiltert und schließlich über definierte Ingress-Ressourcen gezielt an die jeweiligen Services weitergeleitet.

Für die Bereitstellung von persistentem Speicher wird ein zentrales Network File System (NFS) verwendet, das eine zuverlässige und konsistente Datenhaltung für zustandsbehaftete Anwendungen gewährleistet.

Im Rahmen des **Continuous-Delivery-Prozesses** kommt ein moderner **DevOps-Ansatz** zum Einsatz. Die Versionsverwaltung und Nachverfolgbarkeit des Quellcodes erfolgen über Git, während die automatisierte Bereitstellung und Synchronisation der Kubernetes-Ressourcen mithilfe von ArgoCD realisiert wird. Dadurch wird ein hohes Maß an Automatisierung, Transparenz und Nachvollziehbarkeit im gesamten Software-Lebenszyklus sichergestellt.

Demonstrator

Um den beschriebenen Aufbau der IT – Infrastruktur zu beweisen und sowohl client- als auch serverseitig zu testen, wurden verschiedene Services entwickelt und auf der eingerichteten Technologie-Plattform bereitgestellt. Diese wurden unter dem Arbeitstitel „Demonstrator“ zusammengefasst. Ziel dieser Anwendung war es, Parkplatzinformationen der Autobahn GmbH visuell auf Karten dazustellen und über eine entsprechende Id bereits eine Verbindung zur zukünftigen Prognostik von FHHI herzustellen. Dabei bestand der „**Demonstrator**“ aus **4 (plus Datenbank-Container) Services**.

- Java basierter Service (Cron) zur Datenabfrage der Parkplatzinformationen über die Autobahn API
- Java basierter Service als API-Backend
- Containerisierte erste Version des, von FHHI zugelieferten, Prognostik-Moduls
- VueJS basierter Frontend Service

Alle Services laufen als eigenständige Pods in dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Kubernetes Cluster.

Im Verlauf des dritten Projektjahres (2024) wurde der Demonstrator weiterentwickelt und an geänderte Rahmenbedingungen angepasst. Aufgrund rechtlicher Vorgaben zur Datennutzung wurde der ursprüngliche Aufbau modifiziert: Prognosen wurden während der Trainingsphase des Systems nun direkt am FHHI berechnet. Die Ergebnisse wurden anschließend über die SOLP-API an den bei BLUE betriebenen Demonstrator übermittelt. Dadurch entfiel in der finalen Projektphase das zuvor vorgesehene eigenständige Prognosemodul, das durch eine Schnittstelle zur Übergabe der Prognoseergebnisse ersetzt wurde.

Zur Sicherstellung einer möglichst vollständigen Datenbasis wurden für die Parkplatzdaten neben der Autobahn-API zusätzlich Datenauszüge aus dem Rastanlagentool der BASt integriert, um eine flächendeckende Abdeckung aller relevanten Parkplätze entlang der Bundesautobahnen zu erreichen.

Auf Basis dieser Anpassungen sowie der Erfahrungen aus dem Vorgängersystem (Demonstrator 1.0) wurde **im Jahr 2024 der Demonstrator 2.0** entwickelt. Dieser besteht aus folgenden **Komponenten**:

- Service zur Abfrage der Parkplatzstammdaten
- Java-basierter Service als API-Backend und Prognosekomponente
- VueJS-basierter Frontend-Service

Alle Services wurden erfolgreich im Kubernetes-Cluster bereitgestellt und integriert.

Der **Demonstrator 2.0** wurde über das Jahr 2024 hinweg aktiv betrieben und diente zur **Erprobung und Validierung der entwickelten Systemkomponenten**.

Fazit: Alle im Förderantrag definierten Ziele wurden innerhalb dieses Arbeitspakets (nach aktuellem Stand der Prognosefunktionalität) umgesetzt. Das Arbeitspaket konnte mit der erfolgreichen Entwicklung und Integration des Demonstrator 2.0 abgeschlossen werden.

Demonstrator 2.0 - Microservices und API

Nach der erfolgreichen Entwicklung und Erprobung des Demonstrators 2.0 im Jahr 2024 wurde zu Beginn des Jahres 2025 die **Konzeption und Umsetzung einer Produktivarchitektur** eingeleitet. Aufbauend auf den Erkenntnissen und Erfahrungen aus der Demonstrator Phase lag der Fokus dieser Arbeiten auf der **Skalierbarkeit**, **Erweiterbarkeit** sowie der Produktivsetzung der Systemkomponenten in einer **stabilen und zukunftsfähigen Infrastruktur**.

Ziel der neuen Architektur ist es, die im Projekt entwickelten Funktionsbausteine in eine produktionsreife Umgebung zu überführen, die sowohl den Anforderungen an Performance und Ausfallsicherheit als auch den zukünftigen Erweiterungsoptionen gerecht wird. Dabei wurde besonderer Wert auf modulare Strukturen gelegt, um eine einfache Wartung und Weiterentwicklung sicherzustellen.

Die Produktivarchitektur basiert auf einem modernen Technologie-Stack, bestehend aus:

- **Backend:**
  Symfony (PHP-Framework)
- **Infrastruktur**:
  containerisierte Bereitstellung mittels Docker und Orchestrierung über Kubernetes

Die Systemlandschaft ist als **Microservice-Architektur** ausgelegt. Einzelne Dienste übernehmen klar abgegrenzte Aufgaben, wodurch eine flexible Skalierung und unabhängige Weiterentwicklung ermöglicht werden. Zu den zentralen Microservices zählen:

- **Prediction Service** – Bereitstellung der Prognosefunktionen
- **Parking Service** – Bereitstellung der Parkplatzstammdaten
- **Core Logic Services** – Ausgelagerte Kernlogiken zur Datenverarbeitung und internen Systemsteuerung

Zur Gewährleistung einer transparenten und standardisierten Schnittstellenbeschreibung wurden alle relevanten **APIs mit OpenAPI dokumentiert**. Die Dokumentationen sind unter folgenden Endpunkten abrufbar:

- https://parking.services.solp.eu/parkings
- https://prediction.services.solp.eu/predictions

Ein besonderer Bestandteil der Architektur ist die Integration der vom FHHI entwickelten **Prognosemodelle**. Diese Modelle werden **in Form von Docker-Images bereitgestellt** und in der Umgebung der BLUE als eigenständige Docker-Container betrieben. Dadurch können die Modelle sicher und unabhängig innerhalb der firmeninternen Infrastruktur ausgeführt und bei Bedarf aktualisiert oder erweitert werden, ohne Eingriffe in die übrige Systemarchitektur vornehmen zu müssen.

Insgesamt stellt die ab 2025 aufgebaute Produktivarchitektur den nächsten konsequenten Schritt in der technischen Umsetzung des Projekts dar. Sie überführt die zuvor entwickelten Demonstrator-Komponenten in ein skalierbares, modular aufgebautes System, das die Grundlage für den zukünftigen produktiven Betrieb und die fortlaufende Weiterentwicklung bildet.

Exemplarische Integration in Wedolo

Parallel zur beschriebenen prototypischen Umsetzung erfolgte im April 2024 die Integration des SOLP-Dienstes in die Logistikplattform Wedolo. In Zusammenarbeit mit dem Dienstleistungspartner von Wedolo konnte die Anbindung innerhalb weniger Tage unaufwendig realisiert werden. Über die Fahrer-App wurden dem Fahrpersonal ausgewählter, bei Wedolo angemeldeten Transportlogistikunternehmen in einer Testumgebung Belegungstrends sowie die jeweiligen Ausstattungs- und Servicemerkmale von rund 1.000 Rastanlagen an Bundesautobahnen bereitgestellt. Die Integration hat die **technische Stabilität** und **Integrationsfähigkeit der entwickelten Lösung bestätigt.**

2.1.6 Arbeitspaket 6: Pilotierung, Optimierung & Evaluierung

Ausgangslage und Zielsetzung

Aufbauend auf der prototypischen Realisierung der SOLP-Plattform und Dienste fokussierte sich Arbeitspaket 6 auf die praktische Erprobung. Die Kernziele waren hierbei die weitere Validierung der technischen Machbarkeit, die Erhebung von qualifiziertem Nutzerfeedback durch Pilotunternehmen sowie die iterative Optimierung der Prognosemodelle und der Benutzeroberfläche, um eine Markteinführung nach Projektabschluss vorzubereiten.

Funktionsumfang des SOLP-Prognosedienstes im Piloten

Der SOLP-Dienst wurde als Datendienst realisiert, der sich nahtlos in bestehende Telematik- und Transport-managementsysteme integrieren lässt. Zur Aufnahme des Feedbacks durch Lkw-Fahrer wurde die Fahrer App von Wedolo mit den folgenden Kernfunktionen genutzt:

- **Geografische Abdeckung:**
  Umkreissuche nach öffentlichen und privaten Parkanlagen bis zu 100 km (Luftlinie)
- **Prognose-Zeithorizont:**
  Bereitstellung der Ist-Belegung sowie einer Vorausschau bis zu 2 Stunden in 15-Minuten-Schritten
- **Visualisierung:**
  Exemplarische Benutzeroberfläche mit Ampellogik (Rot/Gelb/Grün) zur Verfügbarkeitsanzeige der Lkw-Stellplätze sowie von Zusatzinformationen zur jeweiligen Parkplatzausstattung und den jeweils angebotenen Services
- **Integration:**
  Übergabe der Prognosen an die Testumgebung in Wedolo über die SOLP-API
- **Nutzerunterstützung:**
  Einfache Übergabe der gewählten Parkanplätze an Navigationssysteme (z. B. Google Maps, OpenStreetMap) sowie Filterfunktionen nach Nutzerpräferenzen (Umkreis, Zeitintervall)
- **Komplementäre Rolle:**
  SOLP prognostiziert im Rahmen der Pilotierung primär öffentliche Stellplatz-Kapazitäten und dient als Ergänzung beispielsweise zu KRAVAG Truck Parking, das reservierbare, private Alternativen anbietet.

Pilotpartner, Dissemination und Marktrückmeldung

Die Pilotierung erfolgte in enger Abstimmung mit den Konsortialpartnern und externen Stakeholdern der Logistikbranche, um eine hohe Praxisrelevanz sicherzustellen. So wurde eine enge Kooperation mit Telematik-system-Anbietern, Dienstanbietern für Lkw-Fahrer (wie Wedolo, KRAVAG Truck Parking, Autobahn GmbH) und Speditionen gepflegt, um eine repräsentative Gruppe von Testnutzern zu gewinnen.

Die Kernaussagen der Pilotierung bestätigten den hohen Bedarf an verlässlichen, kurz- bis mittelfristigen Parkplatzprognosen – nicht nur für Deutschland, sondern insbesondere auch mit Blick auf die internationale Relevanz (so beträgt die durchschnittliche Suchzeit pro Fahrer in den USA beispielsweise 56 Minuten).

Der Ansatz und die Ergebnisse der Pilotierung wurden im Rahmen verschiedener Branchenveranstaltungen zur weiteren Reflexion präsentiert und diskutiert:

- Unternehmerbeirat der KRAVAG (2024/2025):
  Bestätigung des hohen Bedarfs an einer verlässlichen Vorausschau, insbesondere gegen Ende der gesetzlich vorgeschriebenen Lenkzeit. Hier wurde der Microservice-Ansatz gegenüber einem separaten App-Ansatz („nicht noch eine App“) klar präferiert.
- 17. Architekturforum Capgemini, Hamburg:
  Präsentation der Microservice-Architektur und der API-Integration
- Transport-Schadenforum KRAVAG, Hamburg 2025:
  Diskussion der positiven Sicherheits-vorteile durch die Reduzierung von unfallträchtigem Falschparken
- Fachpublikationen:
  Veröffentlichungen in der Zeitschrift „Treibstoff“ zur Prognosegüte und Systemintegration

Modell- und Prognose-Evaluierung durch das FHHI

Die technische Güte der Prognose wurde auf zwei Arten gemessen. Beim Training wurde die L2-Norm verwendet. Diese kann sowohl für kontinuierliche Werte (z. B. bei der Modellierung der Belegung auf Basis der historischen Daten) als auch für diskrete Werte (Ampelinterpretation) verwendet werden.

Das Ergebnis wurde in der Ampelinterpretation ausgegeben. Hier wurde eine für den Anwender intuitivere Güte berechnet. Stimmen die Angaben überein (z. B: grün wird als grün erkannt), liegt kein Fehler vor. Bei Abweichungen zwischen gelb zu grün oder gelb zu rot wird ein „halber Fehler“ berechnet, bei Abweichungen von rot zu grün und umgekehrt ein voller Fehler.

Jede Prognose wird in Schritten von 15 Minuten für die nächsten zwei Stunden vorgenommen, also liegen 9 Werte pro Rastanlage vor. Die Güte der Prognose wird über den durchschnittlichen Fehler über alle Werte berechnet. Auf diese Weise kann die Güte über einzelne Rastanlagen, als auch über eine Menge von Rastanlagen berechnet werden. Eine Auswertung nach dem Zeitpunkt der Vorhersage ist auch möglich.

Eine Evaluierung der Modellierung auf Basis der historischen Daten von Toll Collect kommt zu folgenden Ergebnissen (siehe Arbeitspaket 4 unter 2.1.4 mit den Definitionen der Varianten):

- Variante 1: 16 % Fehlerrate
- Variante 2: 10 % Fehlerrate
- Variante 3: 8 % Fehlerrate
- Variante 4: 5 % Fehlerrate

Weitere Ergebnisse der Pilotierung

Neben den vorgestellten Ergebnissen der Modell- und Prognoseevaluierung wurden im Rahmen der Pilotierung die folgenden weiteren Ergebnisse erzielt:

- **Technische Integration:**
  Der SOLP-Dienst wurde erfolgreich in die Wedolo-Testumgebung integriert und die Prognose-informationen (Karte, Ausstattung, Ampellogik) funktionierten stabil.
- **UI/UX-Feedback:**
  Rückmeldungen führten zu Anpassungen in der Darstellung, insbesondere zur Schaffung einer klaren Informationshierarchie und der Vereinfachung von Filteroptionen.
- **Bestätigtes Zielbild:**
  Die Pilotierung hat bestätigt, dass das größte Potenzial für SOLP in der Integration der Prognosedaten in die bestehenden Anwendungen insbesondere für Lkw-Fahrer liegt, statt eine separate App zu entwickeln.

Optimierungen und empfohlene Weiterentwicklung

Die Evaluierung lieferte eine klare **Roadmap** für die Weiterentwicklung zur Produktreife.

Bereich	Empfohlene Optimierung
Daten & Qualität	• Ausweitung der Datenquellen (Mobilithek, Telematik, privatwirtschaftliche Parkraumanbieter) • weitere Evaluierung der Toll-Collect Daten aus dem SID beispielsweise auch zur Verbesserung der Prognose der Parkdauer • Fallback-Strategien bei Datenlücken definieren weiterentwickeln
Prognose-Modelle	• Feintuning der Modelle (DNN-B/DNN-V) • Bewertung fortschrittlicher Modelle (z. B. Transformer-/GNN-Kombinationen) • regionale Kalibrierung und kontinuierliches Nachlernen (Continuous Learning)
Markt & Service	• Aufbau von Service-Packages (z. B. Bronze/Gold/Platin) mit gestaffelten Prognosehorizonten, Zugriffskontingenten und API-Anforderungen • stärkere Einbindung von und Verknüpfung mit den Angeboten von reservierbaren Stellplätzen wie KRAVAG Truck Parking

Tabelle 5: Roadmap für die Markteinführung von SOLP

Zur Sicherstellung der Marktreife wird folgender **KPI-Rahmen** empfohlen:

Metrik	Zielwert
Prognosegenauigkeit (Ampellogik)	> = 80% bis 60 Minuten, > = 70% bis 120 Minuten
Empfehlungserfolg	= > 70% erfolgreiche Erstempfehlungen < 10% Fehlalarme bei „Grün“
Effizienzgewinn	Suchzeitreduzierung > = 20%, Reduktion Umwegkilometer > = 15% gegenüber Baseline
Betriebsmetriken	API P95 < 2 Sek. (95. Perzentil der API-Antwortzeit) Verfügbarkeit > = 99,5%

Tabelle 6: KPI-Rahmen für die Markteinführung von SOLP

Risiken und deren Adressierung

Die identifizierten **Restrisiken** wurden im Rahmen der Evaluierung adressiert:

Risiko	Adressierung/Gegenmaßnahme
Datenqualität/-verfügbarkeit	• Nutzung redundanter Quellen und Fallback-Heuristiken bei Ausfall einer Quelle • Metadatenmanagement
Nutzerakzeptanz	• Co-Design mit Fahrern/Disponenten • Konzentration auf geringe Ablenkung (UI/UX)
Skalierung/Performance	• containerisierte Plattform (Microservice-Architektur) • horizontale Skalierung (CPU/GPU) und Lasttests • definierte SLAs
Recht/DSGVO	• bestätigte Pseudonymisierung/Zweckbindung (siehe Arbeitspaket 7) • abgestimmte Open-Data-Strategie

Tabelle 7: Risiken mit Blick auf die Entwicklung von SOLP zur Marktreife

Fazit und Ausblick

Das geförderte Vorhaben SOLP wurde planmäßig abgeschlossen. Die **technische Machbarkeit der KI-gestützten Echtzeit-Prognose** und die **praktische Relevanz der Lösung** sind belegt. Für eine mögliche Produktivsetzung durch die Konsortialpartner liegen eine klare API-Integrationsstrategie, ein validierter KPI-Rahmen und detaillierte Optimierungsempfehlungen vor. Die kommerzielle Entscheidungsfindung und Umsetzung liegen außerhalb des Projektumfangs.

2.1.7 Arbeitspaket 7: Datenmanagement & Daten(schutz)recht

Zielsetzung

Die Zielsetzung des Arbeitspakets 7 umfasste die Etablierung einer robusten Dateninfrastruktur, die sowohl die **höchsten Standards der Datensicherheit und Compliance** (insbesondere Privacy by Design) erfüllt, als auch eine effiziente **Nutzung und Verwertung der Daten** ermöglicht.

Dies hat die folgenden Punkte beinhaltete:

- Sicherstellung der Einhaltung aller gesetzlichen und regulatorischen Vorgaben (DSGVO).
- Effiziente Verarbeitung komplexer, heterogener Verkehrs- und Sensordaten für das KI-Modell-Training und die Echtzeit-Prognose.
- Veröffentlichung aggregierter, anonymisierter (Zwischen-)Ergebnisse als Open Data.
- Vorbereitung der globalen Skalierbarkeit durch die Berücksichtigung internationaler Datenanforderungen (Europa, USA, Japan).

Datenschutz via Design (Privacy by Design) und Datenflüsse

Der Datenschutz wurde in der Entwicklung der SOLP-Plattform und Dienste von Grund auf (Privacy by Design) verankert, um die Notwendigkeit einer Datenschutz-Folgenabschätzung (DSFA) zu vermeiden und das Re-Identifikationsrisiko auszuschließen.

Grundsatz: SOLP verarbeitet **ausschließlich aggregierte, anonymisierte und nicht personenbezogene Daten**. DSGVO-relevante Daten (Personenbezogene Informationen, PII) werden weder erhoben noch gespeichert.

Details des Anfrage- und Anonymisierungsprozesses:

Prozessschritt	Datentyp und Schutzmechanismus	DSGVO-Relevanz
Anfrage	Lkw- oder Transportmanagementsysteme (TMS) stellen Anfragen über Telematik-Anbieter.	Kein Personenbezug
API-Aufruf	Telematiksysteme rufen die SOLP-API mit einer anonymen Anfrage-ID (z. B. UUID Universally Unique Identifier) und einem räumlichen Radius auf (z. B. 10 km um Koordinaten).	Ausschluss. Es werden keine fahrzeug- oder personenbezogenen Identifikatoren (Namen, Kennzeichen, Fahrer-IDs) übermittelt
Rückschlüsse	Rückschlüsse auf Fahrer oder Fahrzeuge sind durch technische (Anonymisierung, Aggregation) und organisatorische Maßnahmen (Zugriffsbeschränkungen) ausgeschlossen.	Ausgeschlossen
Abrechnung	Nur die Anzahl der API-Anfragen pro Telematiksystem-Anbieter wird erfasst – ohne Zuordnung zu Nutzern oder Fahrzeugen.	Kein Personenbezug
Rückmeldungen	Parkvorgänge (falls gemeldet) werden ausschließlich über die anonyme Anfrage-ID referenziert.	Kein Personenbezug

Tabelle 8: Anfrage- und Anonymisierungsprozess von SOLP

Datenquellen und verarbeitete Datenkategorien

Zur Erzielung der hohen Prognosegenauigkeit des Deep Neural Network (DNN) werden heterogene, nicht personenbezogene Datenquellen integriert:

Datenkategorie	Datenquellen	Charakter der Daten
Verkehrsflussdaten	Mobilithek (Autobahn GmbH)	Aggregiert, fokussiert auf Verkehrsfluss, Dichte und Bewegungszeiten
Parkplatzdaten	BASt (Rastanlagentool), Autobahn GmbH, OpenStreetMap, Mobilithek (Toll Collect / SID)	Geodaten, Belegungsstatus (historisch und in Echtzeit)
Historische Daten	Speicherung für 12–24 Monate für das Modell-Training (z. B. für DNNs).	Nicht personenbezogen, dient der Mustererkennung und Prognose

Tabelle 9: Datenquellen und Datenkategorien, die von SOLP genutzt werden

Internationale Relevanz und Datenintegration

Die Datenarchitektur ist auf globale Skalierbarkeit ausgelegt:

- **Europa und USA (Überlandstrecken):**
  Die Echtzeitdaten-Pipeline ist anpassbar für die Integration der großen, anonymisierten Verkehrs- und Telematik-Datensätze, um dem geschätzten täglichen Stellplatz-Mangel (Europa: 390.000 fehlende Lkw-Stellplätze insbes. in Deutschland, Frankreich, den Benelux-Staaten, Spanien, Italien; USA 1,7 Mio. fehlende Lkw-Stellplätze) und den dadurch verursachten Kosten (USA: Jährliche Schäden ca. 100 Mrd. USD) zu begegnen.
- **Japan (Innenstadtverkehr):**
  Die Prognosemodelle sind auf die hochpräzise Echtzeitanalyse kleinerer geografischer Gebiete (z. B. Tokyo, Osaka) übertragbar, um die Ineffizienzen in urbanen Logistik-hubs und dynamischen Ladezonen zu adressieren.

Technische und Organisatorische Maßnahmen (TOM)

Die folgenden TOMs stellen die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit der verarbeiteten Daten sicher:

Bereich	Maßnahmen
Datenminimierung & Zweckbindung	• Verarbeitung nur notwendiger Felder (Koordinaten, Zeitstempel, Belegung) • keine Speicherung von PII
Anonymisierung/Pseudonymisierung	• Einsatz anonymer Anfragen-IDs (UUIDs); • keine Verknüpfung mit Personen/Fahrzeugen möglich.
Verschlüsselung	• TLS (Transport Layer Security) 1.2/1.3 für API-Kommunikation • AES (Advanced Encryption Standard)-256 für Datenbanken • Schlüsselverwaltung über gesichertes Key-Management-System

Bereich	Maßnahmen
Authentifizierung & Autorisierung	• API-Zugriff nur für registrierte Partner via API-Keys/JWT (JSON Web Token) mit striktem Rollenkonzept • Rate-Limits (z. B. 1.000 Anfragen/Stunde) und Quoten zur Missbrauchsprävention
Retention & Löschung	• Operative Logs befristet (z. B. 6 Monate) • Historische Daten (12–24 Monate) zur Modellpflege, danach automatische Archivierung
Sicherheitsprüfungen	• Halbjährliche Penetrationstests der API und Infrastruktur • jährliche Risikoanalysen und Härtung der Schnittstellen nach OWASP-Standards (Open Worldwide Application Security Project)

Tabelle 10: Überblick über technische und organisatorische Maßnahmen von SOLP für Datenschutz und -sicherheit

Open Data, Veröffentlichung und Verwertung

Ein wichtiger Bestandteil des Arbeitspakets 7 war die Schaffung der Voraussetzungen für die Verwertung der Projektergebnisse.

- **Veröffentlichung:**
  Aggregierte, anonymisierte Ergebnisse (z. B. regionale Belegungsgrade, Prognosegüte-Metriken) werden in öffentlichen Portalen (Mobilithek) bereitgestellt, unter Einhaltung des Urheberrechts (UrhG § 51).
- **Metadaten:**
  Vollständige Dokumentation von Datenquellen, Zeitrastern und Prognosemodellen zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit.
- **Nutzung:**
  Die freie Nutzung der anonymisierten Daten steht öffentlichen Stellen und Forschern zur Verfügung. Die kommerzielle Nutzung der Echtzeit-Prognosen erfolgt über gebührenpflichtige Angebote.
- **Quelloffenheit:**
  Die Option zur Open-Source-Veröffentlichung von Daten, Tools oder Algorithmen wird geprüft, wobei Partnerrechte und die wirtschaftliche Verwertung Priorität haben. Die Bereitstellung von SOLP-Daten soll mindestens drei Jahre nach Projektende (Mai 2028) fortgeführt werden.

Regulatorische und Rechtliche Einordnung

Aufgrund der konsequenten Umsetzung von Privacy by Design und der ausschließlichen Verarbeitung anonymisierter Daten ist die DSGVO-Konformität durch das Fehlen eines Personenbezugs bestätigt.

- **Vertrags- und Urheberrecht:**
  Die Lizenzbedingungen der verschiedenen Datenanbieter (Mobilithek, DWD etc.) wurden vertraglich abgesichert und werden bei der Nutzung der SOLP-Daten strikt eingehalten.
- **Haftungsausschluss:**
  Um die Haftung zu reduzieren, werden Prognosen als „Best Effort“ ohne Garantie ausgewiesen. Alle Annahmen, Datenquellen und Zeithorizonte sind in der API-Dokumentation transparent dargelegt.

- **Internationale Compliance-Vorbereitung:**
  Es werden regelmäßige Compliance-Checks (z. B. CCPA für USA, APPI für Japan) durchgeführt und das Datenmodell bei einer internationalen Expansion neu bewertet, um Konformität mit den jeweiligen Datenschutzgesetzen sicherzustellen.

Fazit

Die zentralen Ergebnisse des Arbeitspakets 7 sind:

- **Datenbereitstellung:**
  Ein robustes, rechtlich geprüftes Konzept und der technische Prozess zur Bereitstellung der Echtzeit-Prognosen für Dritte (Telematik- oder Transportmanagementsystem-Anbieter, Logistikunternehmen) wurde umgesetzt.
- **Datenschutz und Sicherheit:**
  Die Konformität mit dem Grundsatz der Anonymität, DSGVO-Konformität, Ende-zu-Ende-Verschlüsselung und die Durchführung von Risikoanalysen sind bestätigt.
- **Veröffentlichung:**
  Der Governance-Prozess für die Veröffentlichung von aggregierten, anonymisierten Ergebnisdaten in öffentlichen Portalen (Mobilithek) ist etabliert.
- **Internationale Relevanz bestätigt:**
  Die technische Anpassungsfähigkeit für die Nutzung in Märkten mit massiven Logistikkrisen, wie den Überlandstrecken in Europa und den USA sowie den urbanen Logistikhubs Japans, wurde im Systemdesign berücksichtigt.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Während der Projektlaufzeit wurden die Kosten des Projekts SOLP laufend mit der Kostenplanung verglichen. Notwendige Budgetverschiebungen fanden, soweit erforderlich, in Abstimmung mit dem Projektträger statt.

Insgesamt ist das Konsortium mit den zugewendeten Mitteln sparsam umgegangen, sodass das Budget der Gesamtkalkulation nicht vollständig ausgeschöpft wurde. Detaillierte Informationen zu den Positionen der zahlenmäßigen Nachweise der Konsortialpartner können den jeweiligen Schlussverwendungsnachweisen entnommen werden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Projekt „Smart Optimized Lorry Parking" war ursprünglich für die Laufzeit vom 01.12.2021 bis zum 30.11.2024 bewilligt worden. Aufgrund der Datenlage wurde die Laufzeit des Projekts um sechs Monate bis zum 31.05.2025 verlängert. Dies führte zur Verschiebung aller Meilensteine sowie zur Verlängerung der Laufzeit einzelner Arbeitspakete und Tasks. Unter Beachtung der neuen Laufzeiten wurden alle notwendigen Arbeitspakete fristgerecht bearbeitet und abgeschlossen. Die Meilensteine wurden sowohl inhaltlich als auch zeitlich erfüllt.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

2.4.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Während der Projektlaufzeit sind von den Konsortialpartnern keine eigenen Patente oder Schutzrechte im Rahmen des Vorhabens „SOLP“ angemeldet worden.

Am FHHI wird nach aktuellem Stand an einer Lizenzregelung gearbeitet, mit der sowohl die im Rahmen von SOLP implementierte Software als auch die darin verwendeten Verfahren für eine Weiterentwicklung und kommerzielle Verwertung lizenziert werden. Auch ist mittel- bis langfristig eine standortbezogene Verwertung durch strategische Partnerschaften geplant. Eine konkrete Lizenznahme durch BLUE ist abhängig von den Bedingungen des Lizenzentwurfs und wird nach Vorliegen des finalen Dokuments geprüft.

Erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten bestehen in den Bereichen:

- Telematik- und Versicherungslösungen mit AI-Komponenten
- Datenanalyseplattformen für das Transportmanagement
- Schnittstellen für Partner-Ökosysteme im Mobility-Sektor

2.4.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten von SOLP nach Projektende sind vielversprechend. Wir erwarten signifikante Effekte in 3-5 Jahren nach vollständiger Etablierung (ca. 2028-2030).

Funktionale/Wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen

SOLP hebt sich deutlich von bestehenden Parkplatzlösungen in einem fragmentierten Markt ohne dominante Lösung und ohne ein Angebot mit Echtzeit-Prognose ab:

- **Echtzeit & Präzision:**
  Durch den Einsatz von Sensorik und intelligenter Datenverarbeitung (FHHI) liefert SOLP nahezu minutengenaue Belegungsdaten. Das reduziert Parksuchzeiten, spart Kraftstoff, Zeit und Nerven der Fahrer.
- **Prognosefähigkeit:**
  KI-gestützte Algorithmen können Stellplatzverfügbarkeiten vorhersagen. Das ermöglicht eine effizientere Routen- und Parkplatzplanung – ein entscheidender Wettbewerbsvorteil.
- **Systemintegration:**
  Die offene Architektur erlaubt eine flexible Integration in bestehende Telematik- und Transportmanagementsysteme, was die Akzeptanz bei Transportlogistikunternehmen fördert.
- **Umfassende Vernetzung:**
  SOLP strebt die Vernetzung verschiedener Parkplatztypen an (öffentliche Parkplätze, Autohöfe und andere reservierbare Parkplätze, Betriebshöfe, Kommunale Flächen) für ein vollständiges Bild der Parkplatzsituation.
- **Sicherheitsfokus:**
  Die Integration von Informationen zu Sicherheitsstandards (Beleuchtung, Video-überwachung) bietet einen Mehrwert, der besonders für werthaltige Fracht relevant und aktuell an Bedeutung gewinnt.

Nutzen für Anwendergruppen/Industrien in Deutschland

- **Lkw-Fahrer:**
  erhöhte Sicherheit (weniger Unfälle durch Übermüdung), weniger Stress bei der Parkplatzsuche sowie bessere Einhaltung von Ruhezeiten
- **Transportlogistikunternehmen:**
  Kosteneinsparungen durch weniger Kraftstoffverbrauch und Vermeidung von Bußgeldern, Effizienzsteigerung durch optimierte Routen, Kundenzufriedenheit durch eine bessere Einhaltung von Lieferterminen sowie eine höhere Mitarbeiterzufriedenheit durch bessere Arbeitsbedingungen
- **Autohofbetreiber & Parkplatzanbieter:**
  optimierte Auslastung und neue Einnahmequellen durch Reservierungen sowie datenbasierte Optimierung des Angebots
- **Industrieunternehmen (eigene Fuhrparks):**
  direkte Anwendung der Vorteile zur Optimierung der eigenen Logistik
- **Versicherungsbranche:**
  Schadenprävention (Diebstahl, Vandalismus) sowie neue Produktentwicklung (Integration in Telematik- und Flottenversicherungen)
- **Kommunen & Straßenbaulastträger:**
  Entlastung der Infrastruktur (weniger Wildparken) sowie höhere Verkehrssicherheit

Umsetzungs- und Transferstrategien

Der Erfolg von SOLP basiert auf einer mehrstufigen Strategie:

1. **Pilotprojekte & Referenzkunden (1-2 Jahre nach Projektende):**
   Start in ausgewählten Regionen, Telematiksystemen und Transportlogistikunternehmen zur Erprobung und Optimierung
2. **Entwicklung eines Lizenzmodells:**
   Definition attraktiver Lizenzmodelle (volumen-, nutzungsbasiert oder Abo)
3. **Aufbau eines Partnernetzwerks (kontinuierlich):**
   Kooperationen mit Technologiepartnern (Telematik, Navigation), Vertriebspartnern (KRAVAG, Verbände) und Infrastrukturpartnern (Private Parkraumanbieter, Kommunen)
4. **Skalierung & Roll-out (2-5 Jahre nach Projektende):**
   Kontinuierlicher Ausbau der geografischen Abdeckung und der Plattformfunktionen (Prognosemodelle)
5. **Marketing & Kommunikation (kontinuierlich):**
   Gezielte Ansprache der Zielgruppen, Hervorhebung der wirtschaftlichen und Sicherheitsvorteile zum Aufbau der Marke "SOLP".

2.4.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten von SOLP sind auch nach Projektende hoch, mit Potenzialen für Innovation und Transfer in 3-7 Jahren (ca. 2028-2032).

Kern-Erfolgsaussichten & technische Weiterentwicklung

- **Validierung & Optimierung:**

  Erfolgsmetrik: Nachweis der Robustheit und Genauigkeit unter realen Bedingungen

  Weiterentwicklung: Optimierung der Algorithmen für präzisere Belegungserkennung und Minimierung von Fehlern

- **Verbesserung prädiktiver Modelle & KI-basierter Algorithmen:**

  Erfolgsmetrik: Entwicklung von adaptierten Prognosemodellen, die zukünftige Belegung basierend auf Historie, Verkehrsflüssen, Wochentagen, Feiertagen und Events vorhersagen

  Weiterentwicklung: Integration weiterer Einflussfaktoren (Wetter, Baustellen). Entwicklung von maschinellen Lernverfahren zur dynamischen Anpassung von Parkplatzempfehlungen

- **Standardisierung & Interoperabilität von Schnittstellen:**

  Erfolgsmetrik: Etablierung offener, standardisierter APIs für den Datenaustausch, die eine einfache Integration in Drittsysteme (Navigation, Telematik) ermöglichen

  Weiterentwicklung: Aktive Mitarbeit in Standardisierungsgremien (z. B. DATEX II, VDA) zur Etablierung eines einheitlichen europaweiten Standards für den Austausch und die Bereitstellung von Lkw-Parkdaten

Nutzung für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke

Die gesammelten Daten und die Systemarchitektur haben weitreichende Anwendungen:

- **Verkehrsplanung & -management:**

  Datenbasis: Anonymisierte Bewegungs- und Parkdaten liefern Verkehrsplanungsämtern (kommunal, Land, Bund) wertvolle Einblicke in Verkehrsflüsse und Parkraumbedarf

  Entscheidungsgrundlage: Unterstützung bei der Planung neuer Parkflächen oder Optimierung bestehender Infrastruktur

  Kooperationen: Zusammenarbeit mit BMV, Landesverkehrsministerien, Toll Collect, Autobahn GmbH, kommunalen Verkehrsämtern

- **Forschung & Lehre:**

  Datenzugang: Bereitstellung anonymisierter Datensätze für akademische Einrichtungen zur Analyse von Verkehrsverhalten, Logistikprozessen oder zur Entwicklung von KI-Algorithmen

  Forschungsprojekte: Kooperationen zu Logistikoptimierung, Smart Cities, autonomem Fahren

- **Entwicklung von Mobilitätsdienstleistungen der Zukunft:**

  Vernetzte Mobilität: SOLP als Baustein für umfassendere Logistikplattformen (Ladeinfrastruktur für E-Lkw, Routenoptimierung)

  Last-Mile-Optimierung: Anpassung der Technologie für städtische Lieferverkehre

- **Sicherheitsrelevante Anwendungen:**

  Katastrophenschutz/Krisenmanagement: Echtzeit-Parkplatzinformation zur Bereitstellung von Flächen für Einsatzfahrzeuge oder Hilfsgütertransporte

Die wissenschaftlich-technischen Erfolge von SOLP bilden eine solide Basis für weitere Innovationen im Bereich intelligenter Verkehrssysteme und Logistik, die Effizienz, Sicherheit und Nachhaltigkeit im deutschen Güterverkehr maßgeblich vorantreiben.

2.4.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Wirtschaftliche Anschlussfähigkeit: Eine europäische und globale Lösung

Die Notwendigkeit einer Fortführung und Erweiterung von SOLP wird aus mehreren Richtungen deutlich.

- **Europäische Lösung:**
  Die Problematik der Lkw-Parkplatzknappheit ist nicht auf Deutschland beschränkt, sondern stellt ein europaweites Problem dar. Laut einer Studie der European Secure Parking Organisation (ESPORG) fehlen in der EU derzeit circa 390.000 zertifizierte Lkw-Stellplätze. Bis 2040 könnte sich diese Lücke auf 483.000 Plätze vergrößern. Besonders betroffen sind Frankreich, Deutschland, die Benelux-Staaten, Spanien und Italien.

  Eine Skalierung von SOLP auf europäischer Ebene, um eine länderübergreifende Lösung für die Lkw-Stellplatzprognose anzubieten, würde die Effizienz des europäischen Güterverkehrs erheblich steigern und den Fahrern sichere Ruhezeiten ermöglichen. Dies wurde von verschiedenen Seiten geäußert und unterstreicht den hohen Bedarf. Die EU-Kommission arbeitet bereits an Standards für sichere Lkw-Parkplätze und die Bereitstellung von Daten über die Mobilithek des Ministeriums ist ein erster Schritt in diese Richtung.

- **Globale Relevanz:**
  Ähnliche Probleme im Lkw-Verkehr und bei der Parkplatzsituation existieren auch in anderen großen Wirtschaftsregionen, wie Japan (z. B. urbane Lieferketten) und den USA (z. B. Langstreckentransport), was das Potenzial für internationale Anpassungen und Kooperationen eröffnet. Die in SOLP entwickelten Methoden und Erkenntnisse könnten adaptiert und auf diese Märkte übertragen werden. Dies eröffnet weitreichende Potenziale für internationale Kooperationen und die Lizenzierung der Technologie.

Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit:

Die KI-Modelle zur Prognose von Parkplatzbelegungen können in verschiedenen Kontexten nützlich sein, zum Beispiel in großen Parkhäusern, städtischen Parkplätzen oder auch auf Privatgeländen, entsprechend müssen diese Modelle an die zur Verfügung stehenden Datenquellen angepasst und eventuell neu entworfen werden.

Ein weiteres Feld sind KI-Modelle im Verkehrsflussbereich, die helfen, den Verkehr effizienter zu gestalten, Unfälle zu vermeiden und die allgemeine Verkehrsinfrastruktur zu verbessern. Sie kommen in verschiedenen Bereichen des Verkehrsmanagements zum Einsatz, darunter Verkehrsprognosen, Optimierung von Ampelschaltungen, autonome Fahrzeuge und Verkehrsüberwachung.

Hier sind einige Hauptanwendungsfälle:

- **Verkehrsprognosen:**
  Vorhersage von Verkehrsmustern basierend auf historischen Daten und Echtzeitinformationen, um aufzuzeigen, wann und wo mit Staus zu rechnen ist, um frühzeitig Verkehrsmanagementmaßnahmen zu ergreifen
- **Optimierung von Ampelschaltungen:**
  Durch die Analyse von Echtzeit-Verkehrsdaten kann die Dauer von Ampelphasen dynamisch angepasst werden, um den Verkehrsfluss zu maximieren
- **Autonome Fahrzeuge:**
  Fahrzeuge, die in der Lage sind, autonom zu fahren, benötigen präzise Vorhersagen und Analysen des Verkehrsflusses, um sicher und effizient navigieren zu können

- **Verkehrsüberwachung:**
  Mit KI-Modellen erkennen, ob ein Fahrzeug in eine verbotene Zone einfährt oder ein Stau auftritt, und die Informationen in Echtzeit an Verkehrsmanagementzentralen weitergeben
- **Verkehrsfluss-Analyse:**
  Mit KI-Modellen große Mengen an Verkehrsdaten analysieren, um den Verkehrsfluss zu untersuchen und Verbesserungspotenziale zu identifizieren
- **Verkehrsplanung und -simulation:**
  Mit KI-Modellen die Verkehrsplanung simulieren, um die Auswirkungen von Infrastrukturmaßnahmen, neuen Autobahnen, Umleitungen oder Baustellen zu testen

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit des Vorhabens haben zwei wichtige Entwicklungen mit direktem Bezug zum Handlungsfelds von SOLP stattgefunden, die für den Projektfortschritt von großer Bedeutung waren:

- **Stellplatzinformationsdienst (SID) von Toll Collect**
  Ein Jahr nach seiner Beauftragung wurde der SID von Toll Collect im Juli 2025 in Betrieb genommen. Er stellt auf Basis der Auswertung von Maut-Daten aktuelle Belegungsdaten von Lkw-Stellplätzen auf Rastanlagen an Bundesautobahnen in einer Ampellogik zeitnah über die Mobilithek zur Verfügung. Zum Start des SID standen Belegungsdaten für rund 1.000 Rastanlagen zur Verfügung. Ab Anfang 2026 ist geplant, die IST-Belegungsdaten von allen rund 1.900 Rastanlagen an Bundesautobahnen verfügbar zu machen. Im Rahmen einer Entwicklungspartnerschaft hat das Forschungsprojekt SOLP schon während seiner Laufzeit an der Entwicklung des SID mitgewirkt und frühzeitig erste Datensätze zur Auswertung und Erprobung für die SOLP-Prognostik erhalten.
- **AutobahnOS der Autobahn GmbH des Bundes**
  Das AutobahnOS ist ein neues Betriebssystem, das zukünftig von allen Verkehrszentralen der Autobahn GmbH in Deutschland genutzt werden soll und diese verteilten Einheiten miteinander vernetzt. Ein wesentliches Element des AutobahnOS ist eine zentrale und einheitliche Datenhaltung und -bereitstellung, unter anderem von Verkehrsflussdaten. Während der Projektlaufzeit standen SOLP über die Mobilithek bereits zeitlich fein aufgelöste, aktuelle Daten zum Verkehrsfluss von vier regionalen Verkehrszentralen zur Verfügung, die für die Erforschung und Entwickelung der KI-Modelle genutzt wurden. Bis Ende 2027 sollen alle Verkehrszentralen mit dem Betriebssystem AutobahnOS und allen verfügbaren Applikationen arbeiten. Auf dem Weg dorthin, werden Verkehrsflussdaten von weiteren regionalen Verkehrszentralen und dann insgesamt auch in einheitlicher Form über die Mobilithek verfügbar sein.

Im Projektverlauf wurde eine assoziierte Partnerschaft mit Toll Collect und der Autobahn GmbH vereinbart. Die im Rahmen dieser Zusammenarbeit genutzten Belegungs- und Verkehrsflussdaten waren eine wichtige Grundlage für die Entwicklung der KI-Modelle der SOLP-Prognostik. Die bestehenden Planungen zur weiteren Entwicklung des SID und des AutobahnOS bieten zudem eine gute Perspektive für die wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt SOLP.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Rahmen der vier Online-Veranstaltungen „Dialog mit Partnern, Förderern und Stakeholdern” hat das Projektteam während der Projektlaufzeit einem ausgewählten Teilnehmerkreis die Zwischenergebnisse des Projekts vorgestellt. Die insgesamt erzielten Projektergebnisse wurden in der Abschlussveranstaltung des Projekts am 5. Juni 2025, kurz nach dem Projektende, öffentlich präsentiert. Darüber hinaus sind Veröffentlichungen in der Fachpresse geplant.

Literaturverzeichnis

ACE Auto Club Europa. Kein Platz, kein Halt? Parkplatzmangel als Verkehrsrisiko! - Bundesweite Erhebung zum Tag der Verkehrssicherheit 2025. Studie, Stuttgart, 2025.

ADAC e. V.. *ADAC Staubilanz 2024: Fast 450.000 Stunden Stillstand.* 2. Februar 2025.
Onine: https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/-adac-staubilanz-2024.html#:~:text=Im%20vergangenen%20Jahr%20gab%20es%20mehr%20Staus%20und,Staus%20mit%20einer%20Gesamtl%C3%A4nge%20von%20rund%20859.000%20Kilometern
(Abgerufen am 10. November 2025).

BG Verkehr*: LKW-Stellplatznot: KI-Lösung soll Suche erleichtern.* 26. September 2024.
Online: https://www.bg-verkehr.de/medien/news/2024/ausgabe-9-2024/brancheninfos/lkw-stellplatznot-ki-loesung-soll-suche-erleichtern
(Abgerufen am 13. November 2025).

Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entworgung e.V. (BGL). *Situationsbericht und Kernanliegen der mittelständischen Transport- und Logistikbranche.* Frankfurt am Main: BGL, 2023.

BLUE Consult: *solp.eu (Aktuelles).* 1. März 2022.
Online: https://solp.eu/aktuelles/
(Abgerufen am 13. November 2025).

Bradl, Nadine. *Transport Online - Die Zeitung für Güterverkehr: Forschung: KI-gestützte Parkplatzsuche für LKW.* 26. Januar 2022.
Online: https://transport-online.de/news/kravag-digitale-produkte-und-unbuerokratische-hilfe-31833.html
(Abgerufen am 12. November 2025).

BMDV Bundesministerium für Digitales und Verkehr. *Verkehrsentwicklung in Deutschland. Langfristige Verkehrsprognosen. Pressekonferenz zur Präsentation der Studienergebnisse.* Berlin, 2024.

Cieśla, Artur, und Maria Budzyński. *MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute: Highway Rest Area Truck Parking Occupancy Prediction Using Machine Learning: A Case Study from Poland.* 22. Juni 2025.
Online: https://www.mdpi.com/2412-3811/10/7/151
(Abgerufen am 10. November 2025).

Elassy, Mohamed, Mohammed Al-Hattab, Maen Takruri, und Sufian Badawi. *ScienceDirect: Intelligent transportation systems for sustainable smart cities.* 16. Juni 2024.
Online: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666691X24000277
(Abgerufen am 10. November 2025).

Europäische Kommission. *Europäische Kommission: Horizon Europe Work Programme 2025. 8. Climate, Energy and Mobility. (European Commission Decision C(2025) 2779 of 14 May 2025).* 14. Mai 2025. Online: https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2025/wp-8-climate-energy-and-mobility_horizon-2025_en.pdf
(Abgerufen am 10. Novemer 2025).

GlobeNewswire. *GlobeNewswire: Europe's Smart Parking Market was Valued at US$2.48 Billion in 2024: Emerging Trends, Growth Drivers, Competitive Strategies and Future Outlook to 2033 - A $12.8 Billion Opportunity.* 3. November 2025.
Online: https://www.globenewswire.com/news-release/2025/11/03/3179028/0/en/Europe-s-Smart-Parking-Market-was-Valued-at-US-2-48-Billion-in-2024-Emerging-Trends-Growth-Drivers-Competitive-Strategies-and-Future-Outlook-to-2033-A-12-8-Billion-Opportunity.html
(Abgerufen am 10. November 2025).

Google Play. *Google Play.* 27. September 2025.
Online: https://play.google.com/store/search?q=lkw.app&c=apps
(Abgerufen am 10. November 2025).

Haus, Mareike. *Verkehrsrundschau: Ergebnisse der Studie der European Secure Parking Organisation ESPORG: Lkw-Parkplatzmangel spitzt sich zu.* 30. Juni 2025.
Online: https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/transport-logistik/studie-lkw-parkplatzmangel-in-der-eu-spitzt-sich-zu-3683596
(Abgerufen am 30. Juni 2025).

LKW.APP. *LKW.APP.* 2025.
Online: https://lkw.app/
(Abgerufen am 10. November 2025).

NDW. *Nationaal Dataportaal Wegverkeer.* November 2025.
Online: https://docs.ndw.nu/en/
(Abgerufen am 10. November 2025).

Osterwalder, Alexander, und Yves Pigneur. *Business Model Generation.*
Frankfurt am Main: Campus Verlag, 2011.

OTRA Solutions BV. *OTRA Solutions BV: Automated Truck Parking Solutions.* 2025.
Online: https://www.weareotra.com/terms-conditions
(Abgerufen am 10. November 2025).

Plötz, Patrik, und Steffen Link. *ScienceDirect: Geospatial truck parking locations data for Europe.* Juni 2024.
Online: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924002464
(Abgerufen am 10. November 2025).

Reckeweg, Anika. *Heise: Lkw-Fahrer sollen mit KI schneller Parkplätze an Autobahnen finden.* 02. September 2024.
Online: https://www.heise.de/news/KI-soll-Lkw-den-Weg-zum-freien-Parkplatz-weisen-9854862.html
(Abgerufen am 13. November 2025).

Schmitt, Dominik. *Lkw-Parksituation im Umfeld der BAB 2023. Bundesweite Erhebung der Lkw-Parksituation an und auf BAB in Deutschland in den Nachtstunden.*
Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2024.

SOLP-Konsortium. *Markanalyse*. Studie, Hamburg, 2022.

SVG und SOLP-Konsortium. *Eine Smarte digitale Lösung zur Unterstützung der Stellplatzsuche von Lkw-Fahrern.* Ergebnisse einer Online-Umfrage, Frankfurt, 2023.

Technavio. Technavio: *Parking Management Market Analysis, Size, and Forecast 2025-2029: North America (US and Canada), Europe (France, Germany, and UK), APAC (China, India, and Japan), South America (Brazil), and Rest of World (ROW).* Juni 2025.
Online: https://www.technavio.com/report/parking-management-market-industry-analysis
(Abgerufen am 10. November 2025).

Toll Collect. *Toll collect: Lkw-Parkplatz leichter finden – der Stellplatz-Informationsdienst hilft dabei.* Juli 2025.
Online: https://company.toll-collect.de/de/produkte-loesungen/daten-geoinformationssysteme/lkw-stellplatzinformationsdienst/
(Abgerufen am 10. November 2025).

TRAVIS Road Services. *TRAVIS Road Services.* 2025.
Online: https://www.yourtravis.com/
(Abgerufen am 10. November 2025).

Verified Market Research. *Verified Market Research: Parking Management Market Size And Forecast.* September 2025.
Online: https://www.verifiedmarketresearch.com/product/parking-management-market/
(Abgerufen am 10. November 2025).

WELT. *Welt: KI-Ampel hilft bei der Suche; Lkw-Parkplatzmangel.* 2. September 2024.
Online: https://www.welt.de/motor/news/article253313516/KI-Ampel-hilft-bei-der-Suche-Lkw-Parkplatzmangel.html
(Abgerufen am 13. November 2025).