

P:Mover)))

Pionierregion: „Mobilitätslösungen im
suburbanen Raum vernetzen“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Pionierregion: Mobilitätslösungen im suburbanen Raum vernetzen – P:Mover

Abschlussveranstaltung

27.11.2024

EAZ 1337/1338

P:Mover)))



The SPIRIT
of science



Agenda

10:00 – 10:30	Eröffnung und Grußworte	
10:30 – 11:00	Keynote 1 „Funktion von automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV-System“	Constantin Pitzen, Fahrplangesellschaft, Mitglied im Netzwerk „Büro autoBus“
11:00 – 11:30	Keynote 2 „Innovative Betriebskonzepte für automatisiertes ÖPNV auf der Straße	Tim Alscher, IAV GmbH
11:30 – 12:00	Keynote 3 „5G-Mobilfunk aus strahlenschutztechnischer Sicht“	Dr. Christian Bornkessel, TU Ilmenau und Mitglied der Deutschen Strahlenschutzkommission
12:00 – 13:00	Mittagspause (Fingerfood)	
13:00 – 14:30	Ausgewählte Präsentationen aus dem P:Mover Projekt	
	→Projektvorstellung und Öffentlichkeitsarbeit	
	→Wissenschaftliche Domäne: Projektinhalte und Ergebnisse	
	→Projektpartner Funkwerk: Entwicklungsprojekt P:Mover	
	→Mobiles Messsystem und KI-basierte Datenauswertung	
14:30 – 15:15	Kaffee, Networking und Posterausstellung	Berk Altinel und Arne Martius, Stadt IL Lisa-Marie Schilling, ThIMo und TU Ilmenau Thomas Rohn und Jens Köcher, Funkwerk Systems GmbH Ronny Stricker, Lehmann + Partner GmbH
15:15 – 16:30	Demonstrationen	



Funktion von automatisierten Fahrzeugen im ÖPNV-System

Abschlussveranstaltung im Projekt P:Mover, 26.11.2024, Ilmenau

Die Revolution durch autonome Fahrzeuge steht bevor.

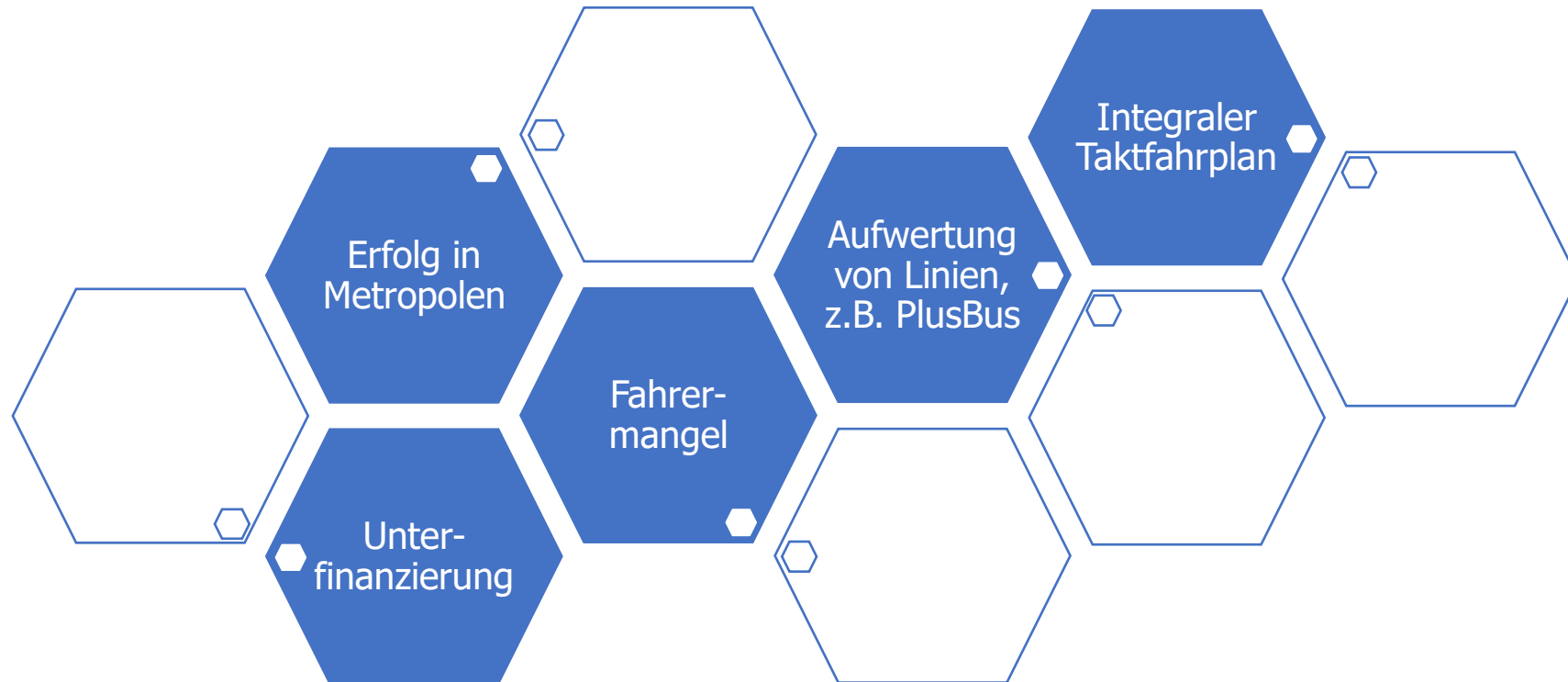




**Trends im ÖPNV
räumlich differenziert**



Megatrends im ÖPNV räumlich differenziert



Trend- und Alternativszenario

heute

Fahrplan
nachfrage-
orientiert
mit sehr großen
Qualitäts-
unterschieden

Trendszenario

weiterer
Abbau im
Fahrplan

Fahrplan
ÖPNV
bedarfs-
bezogen

weiterer
Verlust an
Fahrgästen

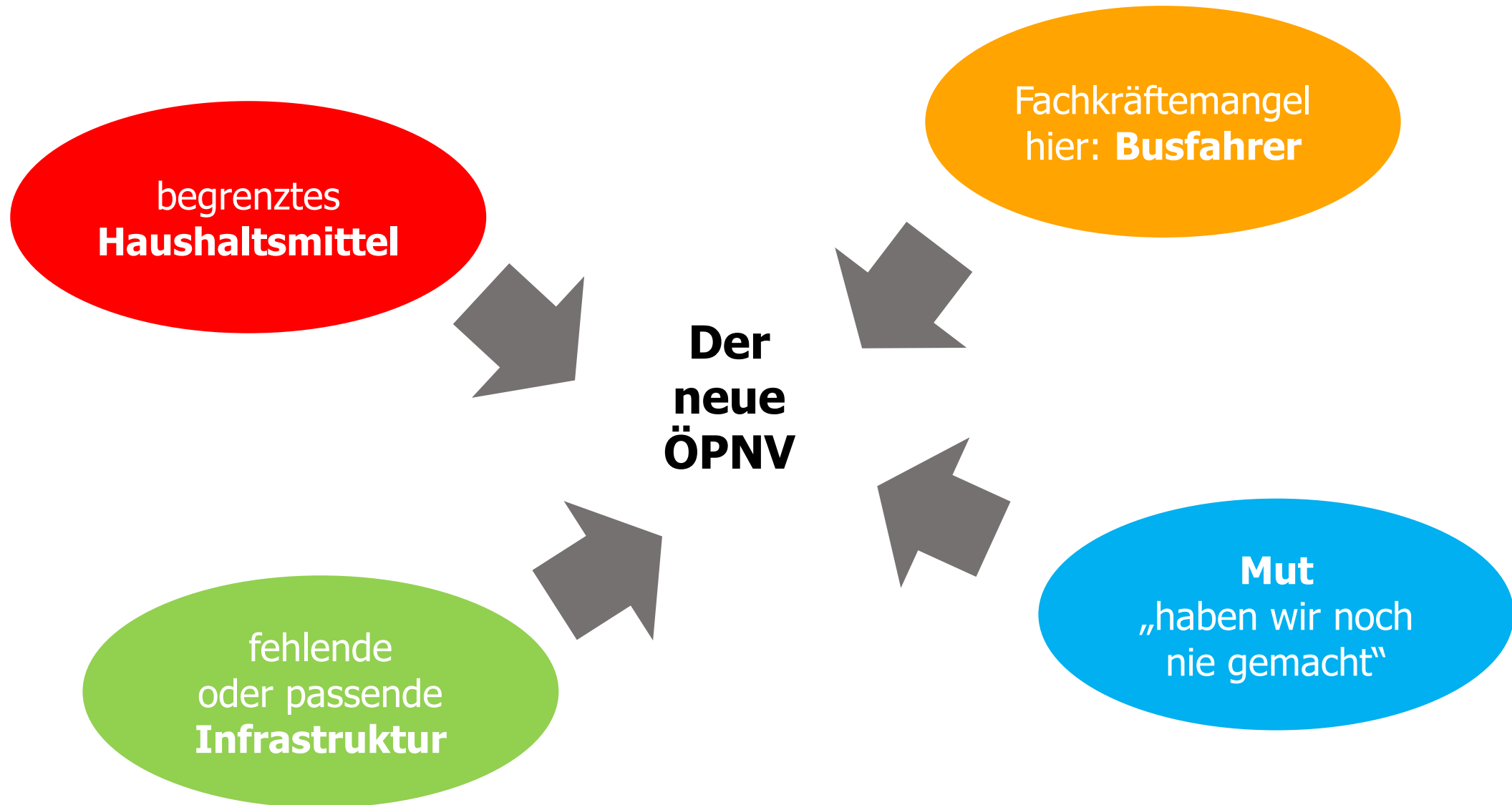
Szenario ITF

Knoten und
Differen-
zierung

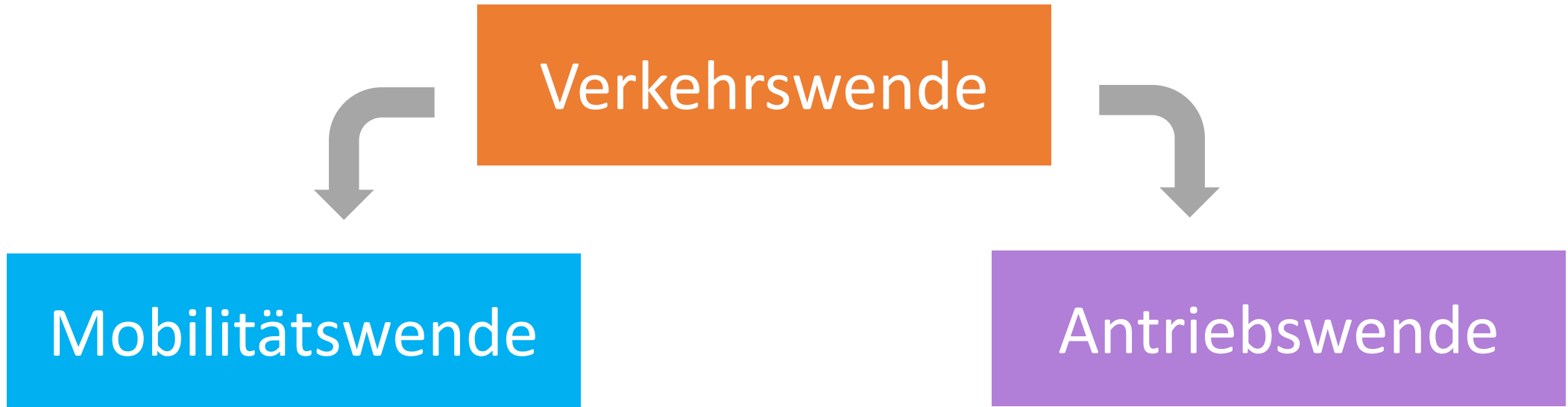
Begren-
zung
Kosten-
aufwuchs
durch ITF

ÖPNV
angebots-
orientiert

Herausforderungen für den ÖPNV



Definition

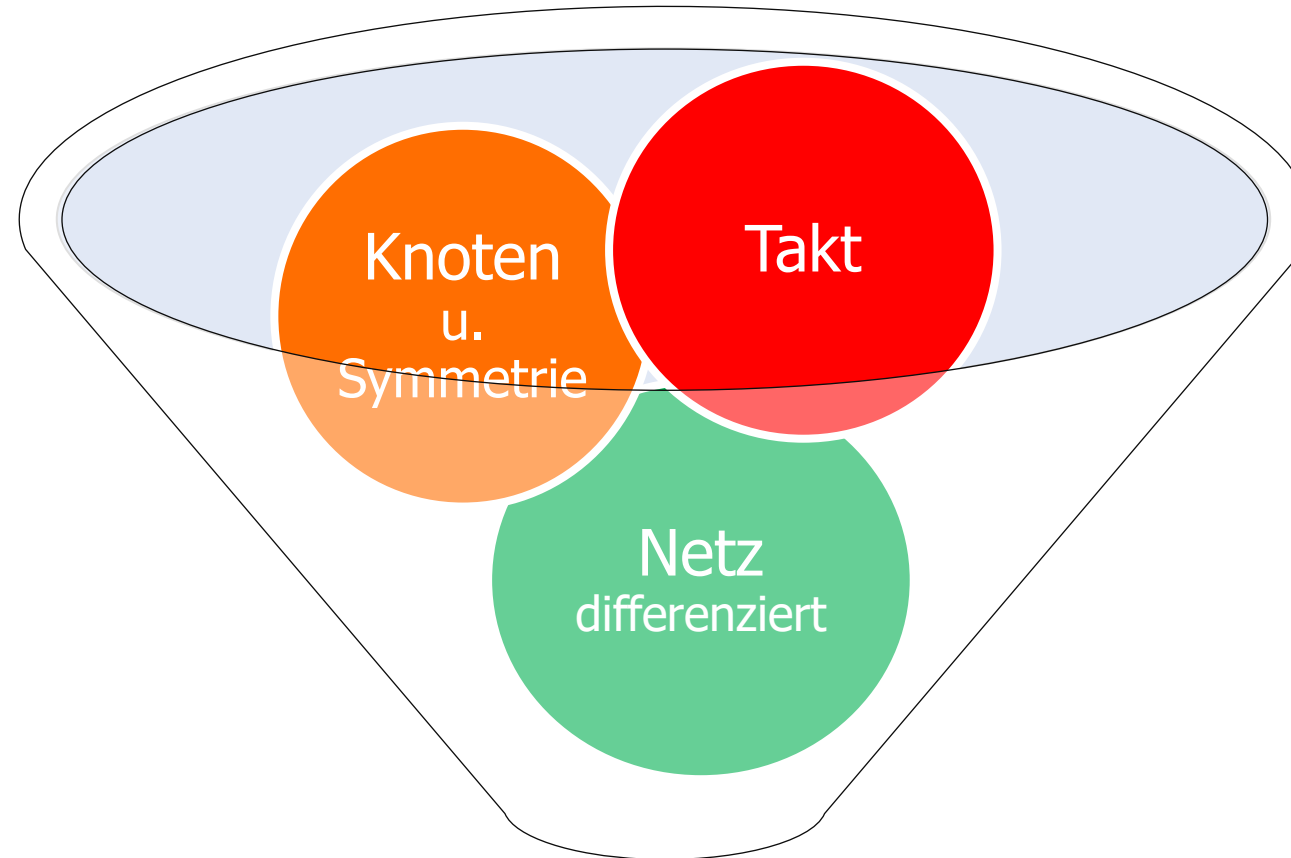


Thüringen auf dem Weg zum Integralen Taktfahrplan

Erarbeitung Rahmenplan und Umsetzungsplanung in der Modellregion und Fokusregion durch Fahrplangesellschaft und Mobile Zeiten im Auftrag der LEG Thüringen

The image shows a screenshot of a web browser displaying the website of LEG Thüringen. The browser's address bar shows the URL <https://www.leg-thueringen.de/itf/>. The website header includes the LEG Thüringen logo (Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH) and a navigation menu with items: Leistungen, Messen und Veranstaltungen, Aktuelles, Karriere, Über u. A user icon is visible in the top right. Below the header is a large banner image of a bus stop with a white IVECO bus. The banner contains the text: "Mein Thüringen-Takt. Einfach ankommen. Der Integrale Taktfahrplan für Thüringen." Below this text, it says "Ein Projekt im Auftrag des:" followed by the logos of the Freistaat Thüringen and the Thüringen Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft. On the right side of the banner, there is a vertical orange button labeled "Kontakt" and a blue arrow icon pointing up.

Werkzeugkoffer



Arbeitsweise:

bodenständig
ingenieurmäßig
umsetzungsorientiert
keine Luftschlösser



Integraler Taktfahrplan

Werkzeugkoffer



Taktverkehr (Fahrplanzeiten mit wiederkehrenden Minuten)

Taktfamilie 15 / 30 / 60 / 120 sinnvoll

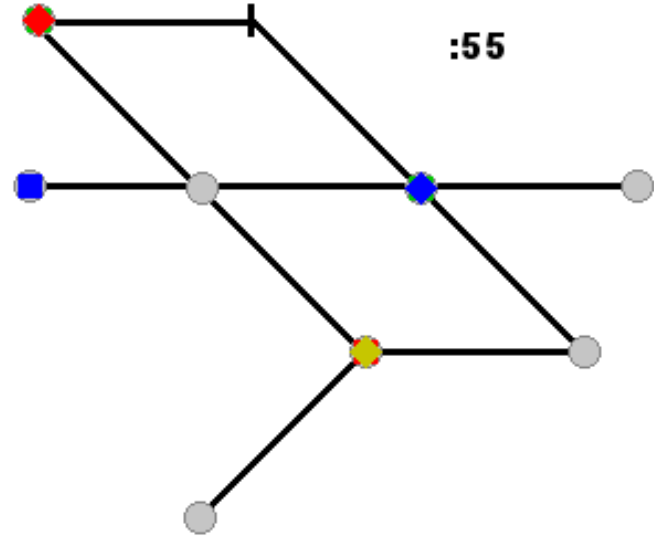
Takt ermöglicht Skalierung und Herstellung von Anschlüssen (Nutzbarkeit)

Wie sieht es in Thüringen aus?

In den meisten Landkreisen landesbedeutsame Linien im 2-Stundentakt, teilweise Linien im Stundentakt vorhanden

Werkzeugkoffer

Knoten u.
Symmetrie



Merkmale des ITF

1. Taktfahrpläne
2. Fahrplansymmetrie
3. Ausrichtung an Knoten

Folge: Änderungen für Fahrgäste, auch Schüler

Wirkung: Attraktivität, Skalierbarkeit, Effizienz



alle 30 bis 60 min, Erfurter Kreuz, Ilm-Kreis



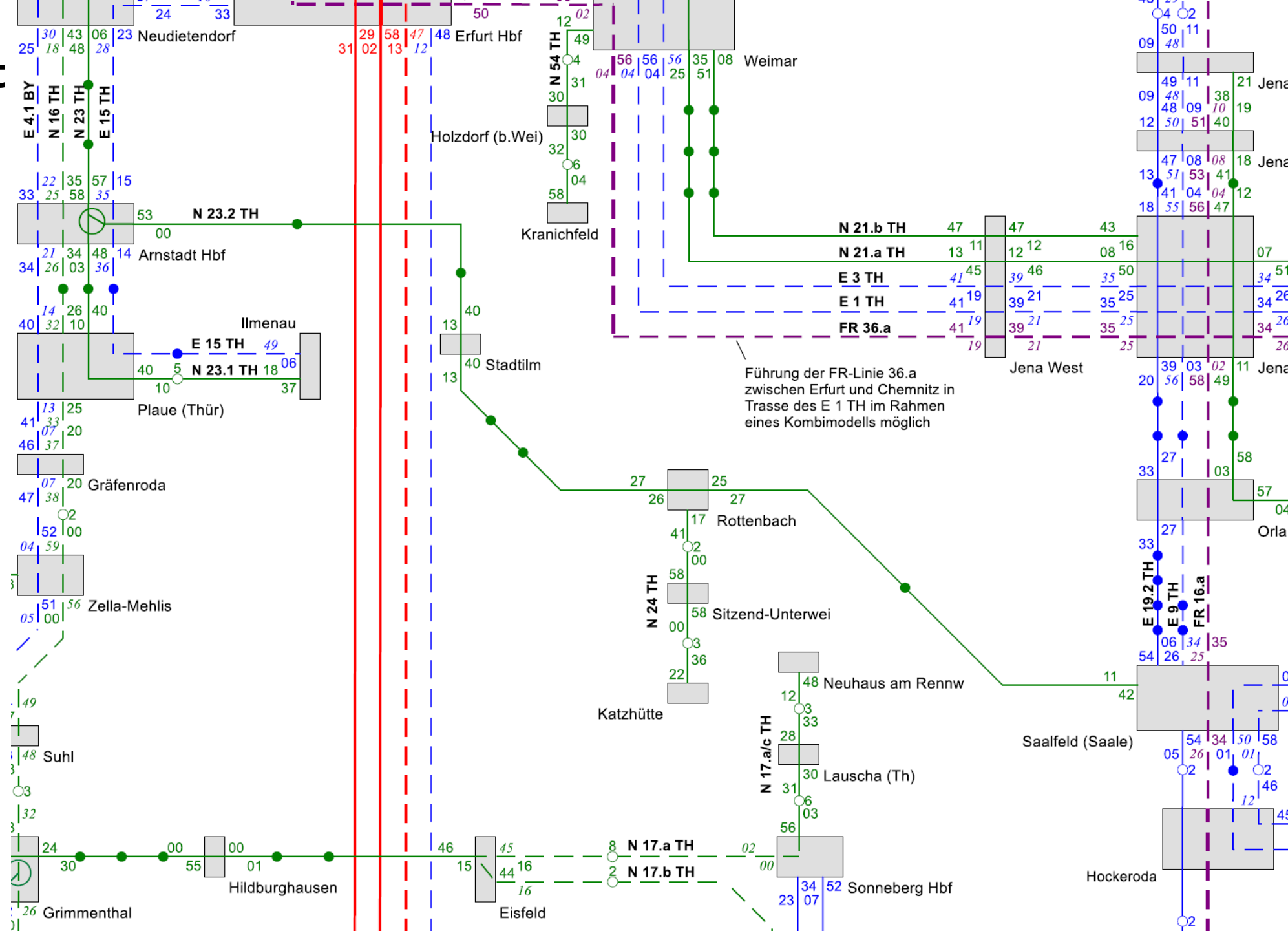
alle 60 min in Vogelsang-Grünholz, LK R-E



alle 60 min in Döbern, LK Spree-Neiße

Deutschlandtakt

Berücksichtigt
3. Entwurf
und Vorplanungen
des Freistaates
Thüringen

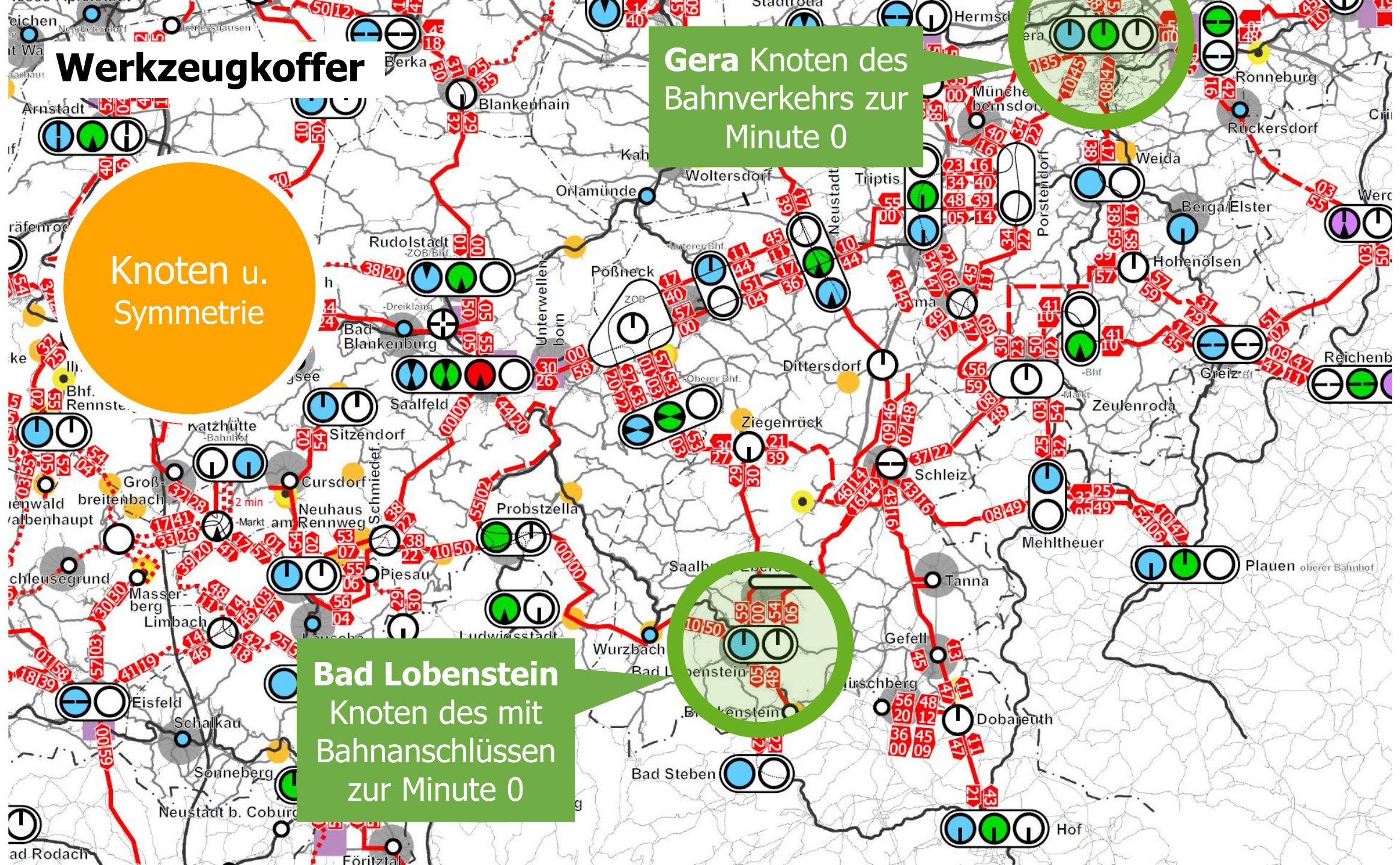


Werkzeugkoffer

Knoten u. Symmetrie

Gera Knoten des Bahnverkehrs zur Minute 0

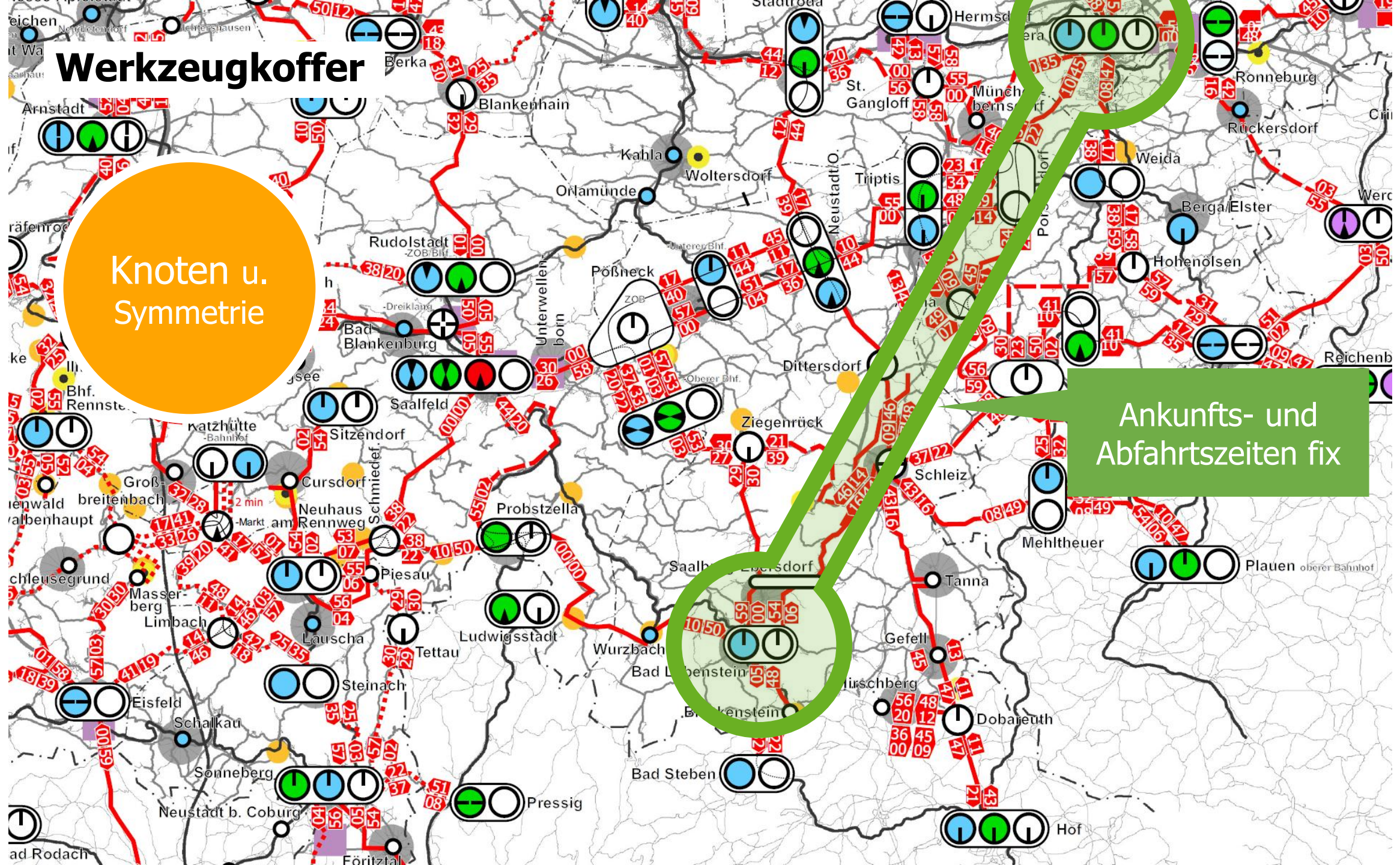
Bad Lobenstein Knoten des mit Bahnanschlüssen zur Minute 0



Werkzeugkoffer

Knoten u. Symmetrie

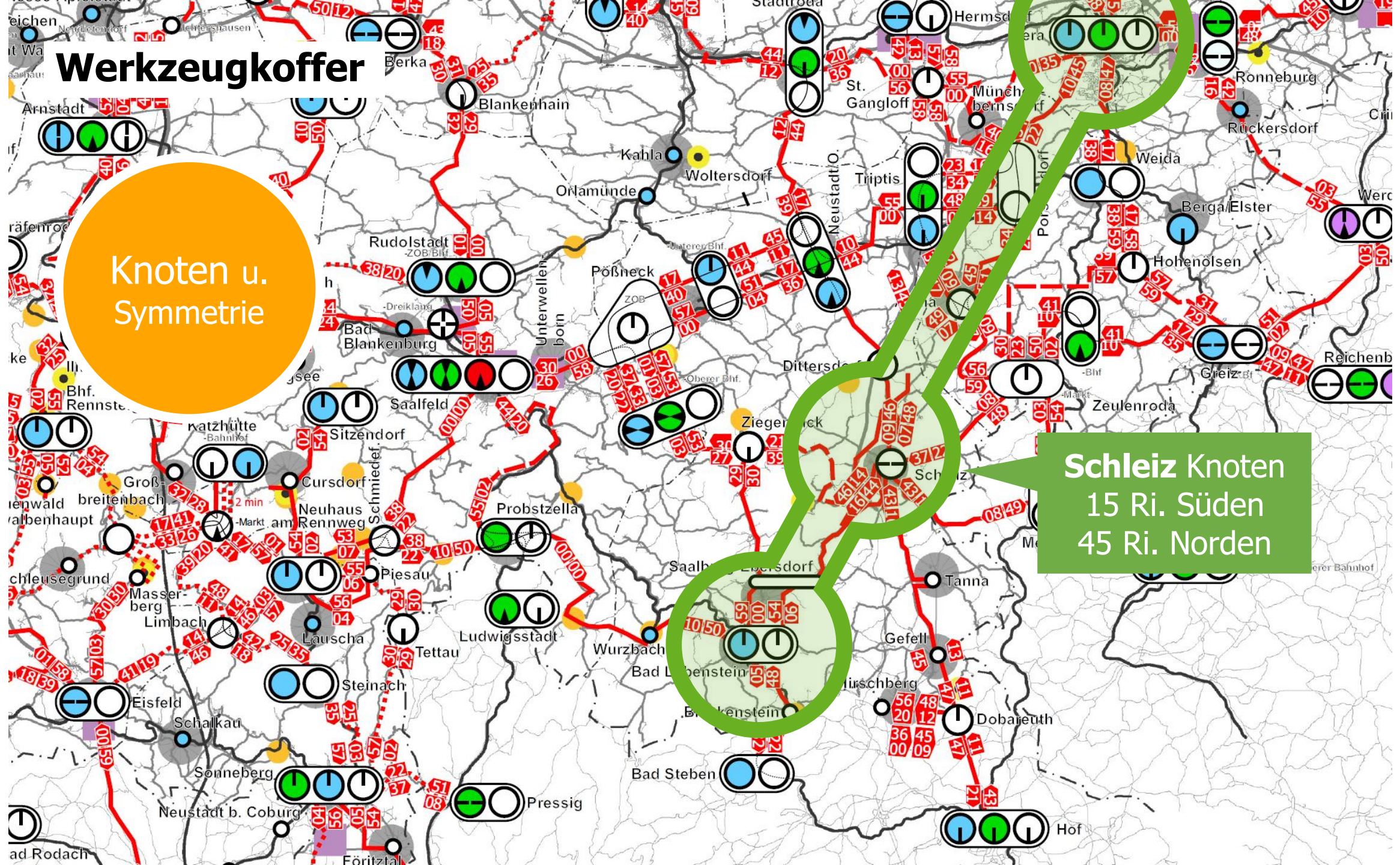
Ankunfts- und Abfahrtszeiten fix



Werkzeugkoffer

Knoten u. Symmetrie

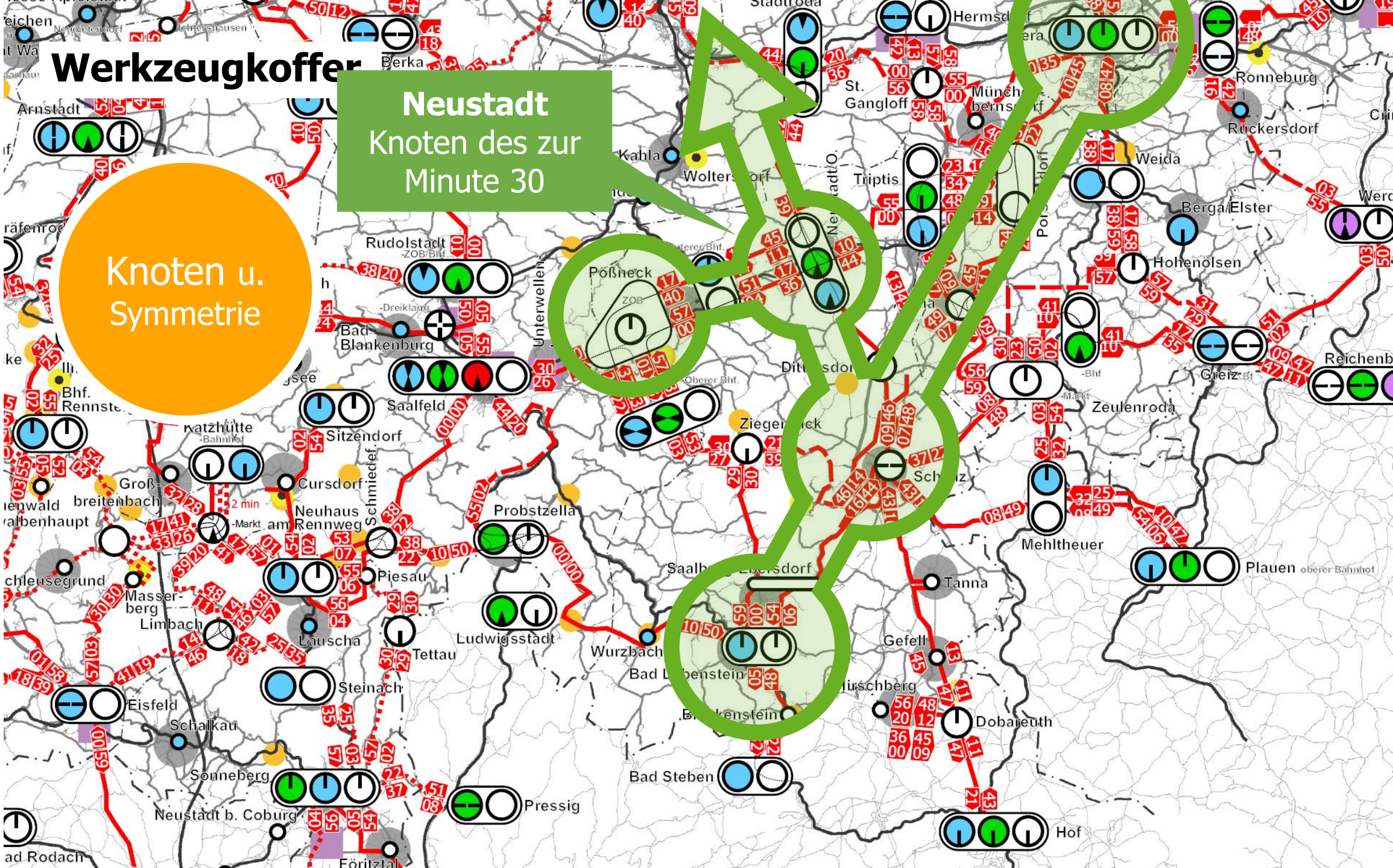
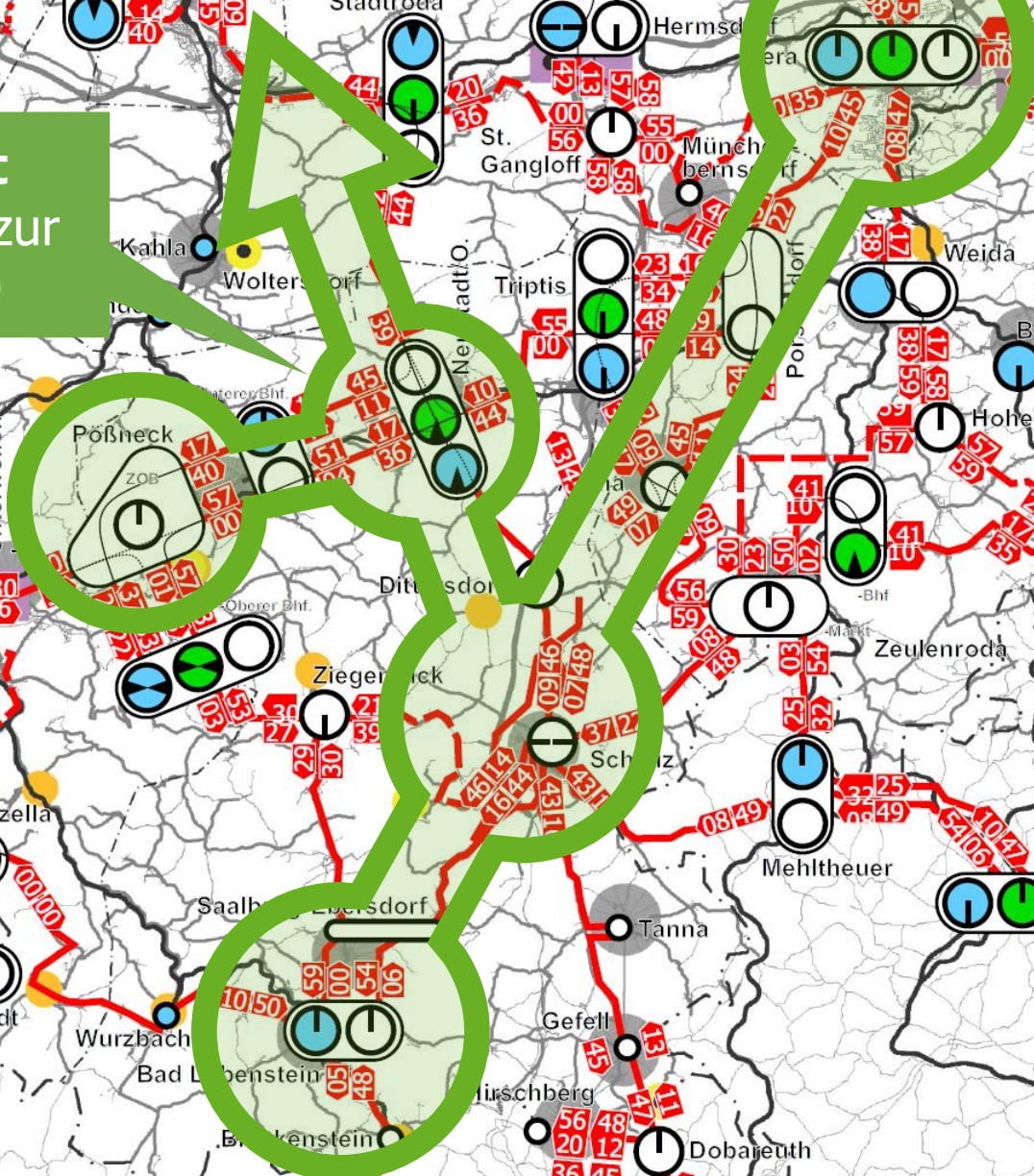
Schleiz Knoten
15 Ri. Süden
45 Ri. Norden



Werkzeugkoffer

Neustadt
Knoten des zur
Minute 30

Knoten u.
Symmetrie



Werkzeugkoffer

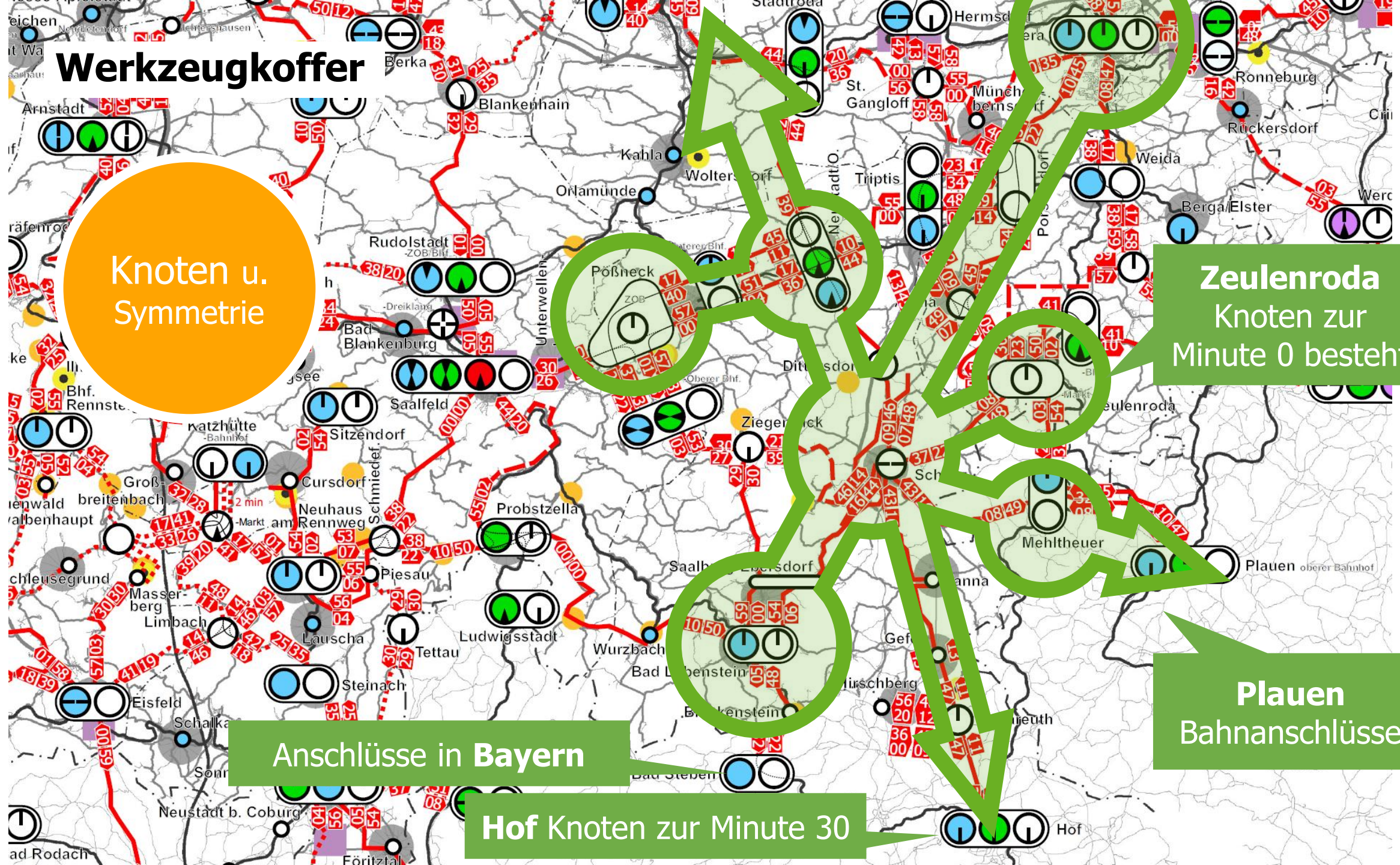
Knoten u. Symmetrie

Zeulenroda
Knoten zur Minute 0 besteht

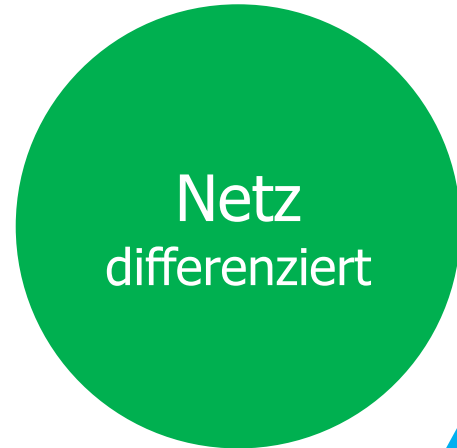
Plauen
Bahnanschlüsse

Anschlüsse in Bayern

Hof Knoten zur Minute 30



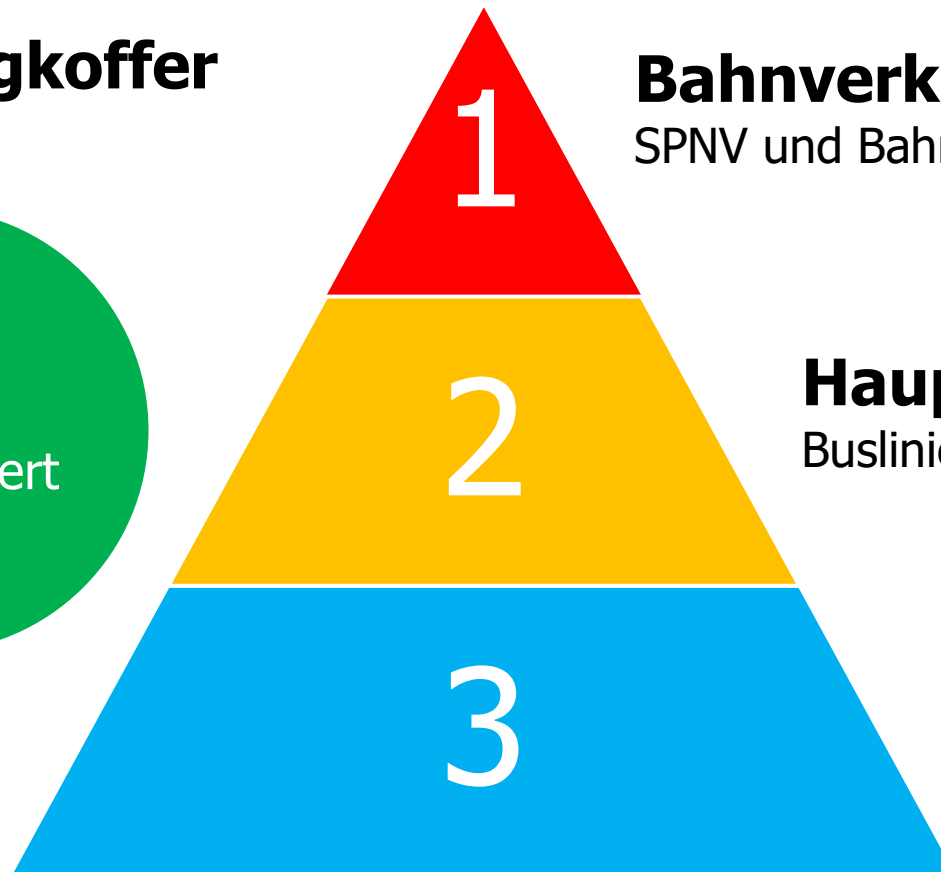
Werkzeugkoffer



Warum?

Differenzierung
nach Bedeutung

Skalierbarkeit



Bedienungsebenen

Bahnverkehr

SPNV und Bahn-Fernverkehr

Hauptnetz des Regionalbusverkehrs

Buslinien im Taktverkehr

Zubringer und Ergänzungsnetz

- a. Linien mit überwiegend Schülerbeförderung
- b. Rufbusse (jetzt: On demand) und andere Verkehrsformen

Funktion von automatisierten Fahrzeugen



Automated Driving

Intelligente Verkehrslösungen
im suburbanen Raum vernetzen

GINGER funkwerk

Technische Universität München

ilnema

8

2 →

BMZ

Funktion von automatisierten Fahrzeugen

Einsatz automatisierter (fahrerloser) Fahrzeuge im ÖPNV

Machbarkeit bei Schwierigkeitsgrad der Verkehrsverhältnisse

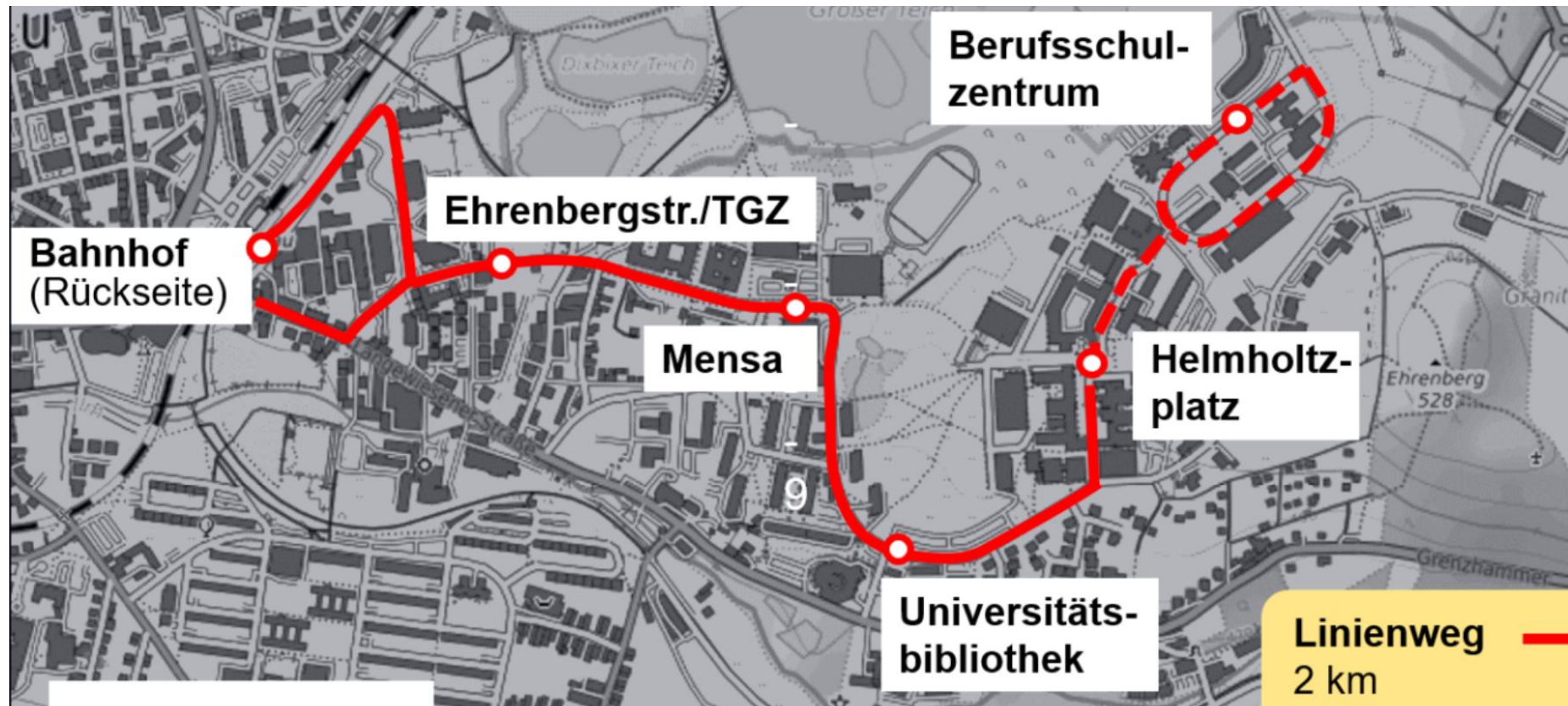


Bedarf zur Problemlösung im ÖPNV



Funktion von automatisierten Fahrzeugen

Stadtbuslinien mit geringer Nachfrage aber wichtiger Verkehrsaufgabe



Funktion von automatisierten Fahrzeugen

Ortsbuslinien mit geringer Nachfrage und engen Straßen

Beispiel aus dem Projekt autoNV_OPR
Ortsbus Wusterhausen
Erschließung von Wohngebieten
Anbindung von Discountern und Bahnhof



Bild: Google Earth

Funktion von automatisierten Fahrzeugen

Zubringer zum Regionalbus oder Bahnverkehr zur Vermeidung von Umwegen

Verbindungsdetails
Dauer 0:41

Start: Plaue(Thür) **Ende:** Ilmenau

5 Minuten (158m) Fußweg nach Schule

302 → Ilmenau

14:43 Schule
...11 Zwischenhalte...

15:24 Ilmenau

Kursiv gedruckte Uhrzeiten sind Echtzeit.

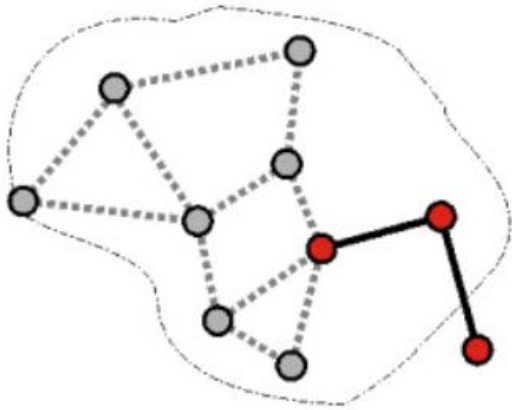
DB Daten bereitgestellt von Deutsche Bahn alle Angaben ohne Gewähr

© OpenStreetMap contributors

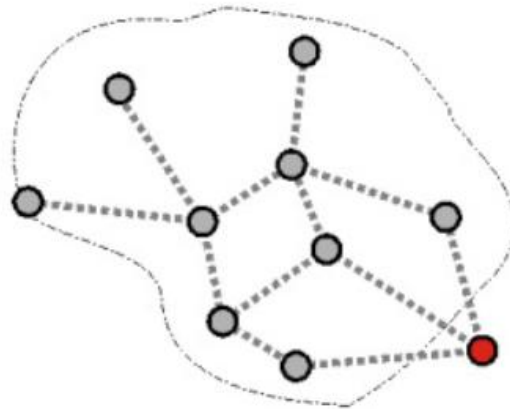
Funktion von automatisierten Fahrzeugen

On demand (früher Rufbus oder Anruf-Sammel-Taxi)

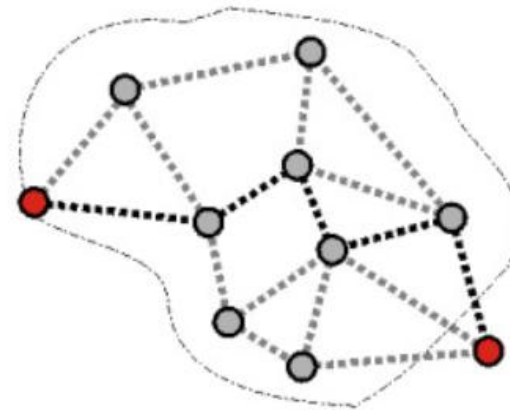
Richtungsbandbetrieb
mit Linienaufweitung



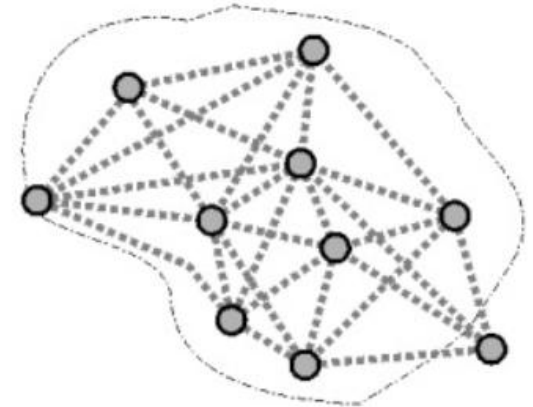
Richtungsbandbetrieb
mit Sektorbedienung
(nur Zu- oder Anbringer)



Richtungsbandbetrieb
mit Korridorbedienung



Rufbus im Flächenbetrieb



Empfehlungen



Empfehlung

- 1** Nutzen Sie die Forschungsprojekte, wie CAMIL und P:Mover
- 2** Entwickeln Sie das Hauptnetz des ÖPNV – die Schlagadern
- 3** Nutzen Sie mit und ohne Fahrer den ÖPNV als Integrator für die Mobilität der Zukunft

Innovative Betriebskonzepte für automatisierten ÖPNV auf der Straße

Abschlussveranstaltung im Projekt P:Mover
Ilmenau, 27.11.2024, Tim Alscher



Agenda

1. Vorstellung IAV
2. Es ist Zeit, die Weichen zu stellen! - Problemstellung
3. Perspektiven des Automatisierten Fahrens
4. Innovative Betriebskonzepte
5. Offene Forschungsfragen

Agenda

1. Vorstellung IAV

2. Es ist Zeit, die Weichen zu stellen! - Problemstellung

3. Perspektiven des Automatisierten Fahrens

4. Innovative Betriebskonzepte

5. Offene Forschungsfragen

What Can We Do for You?

01100100
01100001
01110100

Software Systems & Connectivity

Because connected mobility knows no boundaries.



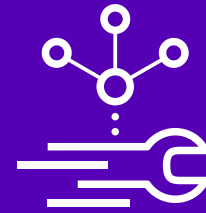
Vehicle Solutions & Autonomous Driving

Because the vehicle must be thought of as a whole.



Future Powertrain

Because the powertrain of the future has more than one solution in store.



Solutions & Products

Because innovative solutions are in our blood – even beyond mobility.

Vehicle Solutions & Autonomous Driving

Because the vehicle
must be thought of
as a whole.



At Home Around the World



IAV in Germany

Berlin
Chemnitz/Stollberg
Gifhorn
Dresden
Friedrichshafen
Heimsheim
Ingolstadt
Kassel
Ludwigsburg
Munich
Neckarsulm
Nuremberg
Rostock
Sindelfingen
Weissach

Agenda

1. Vorstellung IAV
- 2. Es ist Zeit, die Weichen zu stellen! - Problemstellung**
3. Perspektiven des Automatisierten Fahrens
4. Innovative Betriebskonzepte
5. Offene Forschungsfragen

Our Motivation



Common Aim

Attractive services in public transport:

- **Fast & Flexible**
- **Autonomous & Secure**

Public transport today

- Fixed route network
- Mostly conventional power units
- Driving personnel in each vehicle

Societal challenges

- Climate crisis
- Great volume of individual traffic, rural areas are being left-behind
- Poor market penetration by alternative solutions

It's time to set the track for automated public transport.

Reduction

- Of individual traffic
- Of complexity for today's bus drivers/passengers



Attractiveness

- through added value when it comes to safety & comfort for the driver
- through on-demand services

Automation

- In defined deployment areas
- With the aid of latest mobile communication standard

Profitability

- Due to flexible steering concepts
- Due to selectable driving concepts contingent upon the deployment of the vehicle

Acceptance

- By staff
- By passengers

Means to strengthen Public Transport in Rural Areas (I)



Expectations of an attractive public transport system^[1] – users perspective:

- Narrow distances between stops
- Short frequencies and/or service on demand
- Short journey time
- Low prices
- Connection to urban networks and inter urban rail services

[1] Source: Gipp, C.; Brenck, A. und Schiffhorst, G. (2020): Zukunftsfähige öffentliche Mobilität außerhalb von Ballungsräumen. Berlin, München: IGES Institut GmbH im Auftrag des ADAC e.V. Verfügbar unter: https://assets.adac.de/image/upload/v1581494746/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/zukunftsaehige-oeffentliche-mobilitaet-ausserhalb-von-ballungsraeumen_ADAC_Studie_kkr955.pdf(abgerufen: 01.03.2023).

Means to strengthen Public Transport in Rural Areas (II)



Expectations of an attractive public transport system – operators perspective:

- Connected, driverless Fleet
- Flexible Operating Modes
- Economical TCO
 - Vehicle costs
 - Control Room License
 - Maintenance
- new business models
 - On-Demand service
 - Logistic applications during night shift

Agenda

1. Vorstellung IAV
2. Es ist Zeit, die Weichen zu stellen! - Problemstellung
- 3. Perspektiven des Automatisierten Fahrens**
4. Innovative Betriebskonzepte
5. Offene Forschungsfragen

Automated Driving

Legal Regulation in Germany

- §1 StVG in connection with its executive order AFGBV

Boundaries by Operational Design Domain

- Characteristic of road pathway, such as track width, curve ratings, number of lanes, allowed maximum speed, etc.
- Infrastructure layout: traffic lights, cross walks, bar gates, etc.

Required Infrastructure

- Up-to-date HD-map
- Network to traffic lights, control room, etc.

Functionality





FLASH „Fahrerloses automatisiertes Shuttle“ in Northern Saxony





FAHRI

Hayna Biedermeier

Nordsachsen Mobil GmbH
 Geschäftsitz: Dresdener Straße 54, 04758 Oschatz, Tel.: 0 34 35 / 90 60 0
 E-Mail: info@nordsachsen-mobil.de, Internet: www.nordsachsen-mobil.de

nomo NORDSACHSEN MOBIL

BUS 216 FLASH Rackwitz, Bahnhof - Schladitzer Bucht - Biedermeierstrand - Rackwitz, Bahnhof gültig ab 18.05.23 (ohne Gewähr)

Verkehrstage	Montag - Freitag (außer Feiertag, 24.12. u. 31.12.)										Samstag (auch 24.12. u. 31.12.), Sonn- und Feiertag										
	Fahrtnummer	1	3	7	11	15	21	23	27	31	35	701	703	707	711	715	721	723	727	731	735
Verkehrshinweise	Ⓢ Ⓞ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ										
S2 von Delitzsch	8:01	10:01	11:01	12:01	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01	18:01	9:01	10:01	11:01	12:01	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01	18:01	
S2 von Leipzig	7:58	9:58	10:58	11:58	12:58	13:58	14:58	15:58	16:58	17:58	8:58	9:58	10:58	11:58	12:58	13:58	14:58	15:58	16:58	17:58	
Rackwitz, Bahnhof ab	8:07	10:07	11:07	12:07	13:07	14:07	15:07	16:07	17:07	18:07	9:07	10:07	11:07	12:07	13:07	14:07	15:07	16:07	17:07	18:07	
Rackwitz, Leipziger Str./Hauptstr.	8:10	10:10	11:10	12:10	13:10	14:10	15:10	16:10	17:10	18:10	9:10	10:10	11:10	12:10	13:10	14:10	15:10	16:10	17:10	18:10	
Neuschladitz	8:13	10:13	11:13	12:13	13:13	14:13	15:13	16:13	17:13	18:13	9:13	10:13	11:13	12:13	13:13	14:13	15:13	16:13	17:13	18:13	
Rackwitz, Schladitzer Bucht	8:20	10:20	11:20	12:20	13:20	14:20	15:20	16:20	17:20	18:20	9:20	10:20	11:20	12:20	13:20	14:20	15:20	16:20	17:20	18:20	
Hayna, Biedermeierstrand an	8:28	10:28	11:28	12:28	13:28	14:28	15:28	16:28	17:28	18:28	9:28	10:28	11:28	12:28	13:28	14:28	15:28	16:28	17:28	18:28	
Hayna, Biedermeierstrand ab	8:35	10:35	11:35	12:35	13:35	14:35	15:35	16:35	17:35	18:35	9:35	10:35	11:35	12:35	13:35	14:35	15:35	16:35	17:35	18:35	
Neuschladitz	8:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	9:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	
Rackwitz, Leipziger Str./Hauptstr.	8:49	10:49	11:49	12:49	13:49	14:49	15:49	16:49	17:49	18:49	9:49	10:49	11:49	12:49	13:49	14:49	15:49	16:49	17:49	18:49	
Rackwitz, Bahnhof an	8:52	10:52	11:52	12:52	13:52	14:52	15:52	16:52	17:52	18:52	9:52	10:52	11:52	12:52	13:52	14:52	15:52	16:52	17:52	18:52	
S2 nach Leipzig	9:01	11:01	12:01	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01	18:01	19:01	10:01	11:01	12:01	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01	18:01	19:01	
S2 nach Delitzsch	8:59	10:59	11:59	12:59	13:59	14:59	15:59	16:59	17:59	18:59	9:59	10:59	11:59	12:59	13:59	14:59	15:59	16:59	17:59	18:59	

Ⓢ Ⓞ : verkehrt nur donnerstags und freitags Ⓢ : Flashbus als Rufbus, Anmeldung für einen konventionell antriebenen Bus bis 1 Std. vor Abfahrt und für den automatisch fahrenden Bus bis 24 h vor der Abfahrt erforderlich. Anmeldezeiten: Montag bis Freitag 5 - 22 Uhr, Samstag/Sonntag/Feiertag 8 - 22 Uhr unter Tel.-Nr. 03421-77 46 620

Anmerkungen
 FLASH ... fahrerloses automatisiertes Shuttle. Auf dieser Linie werden hochautomatisierte Fahrzeuge eingesetzt.

www.mdv.de · MDV-Infotelefon: 0341 91 35 35 91

Im MDV gilt Ihr Verbundticket für



Source: Mitteldeutscher Verkehrsverbund (MDV)



Agenda

1. Vorstellung IAV
2. Es ist Zeit, die Weichen zu stellen! - Problemstellung
3. Perspektiven des Automatisierten Fahrens
- 4. Innovative Betriebskonzepte**
5. Offene Forschungsfragen

Aspects of Autonomous Transport



Control Room

- Supervision
- Scheduling



Driverless operation

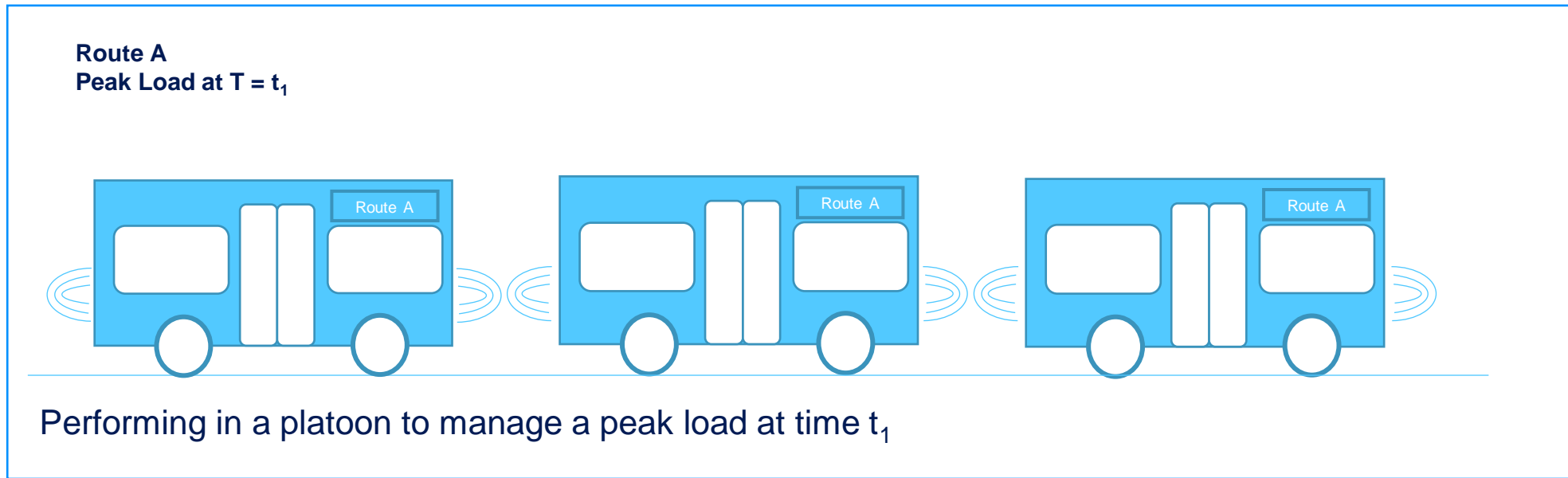
- 24/7 service possible without sticking to worktime regulations
- On Demand service (stopping and resuming almost everywhere)

Limitations

- Charging and Cleaning
- Maintenance

A day of future public transport – ideal conception I

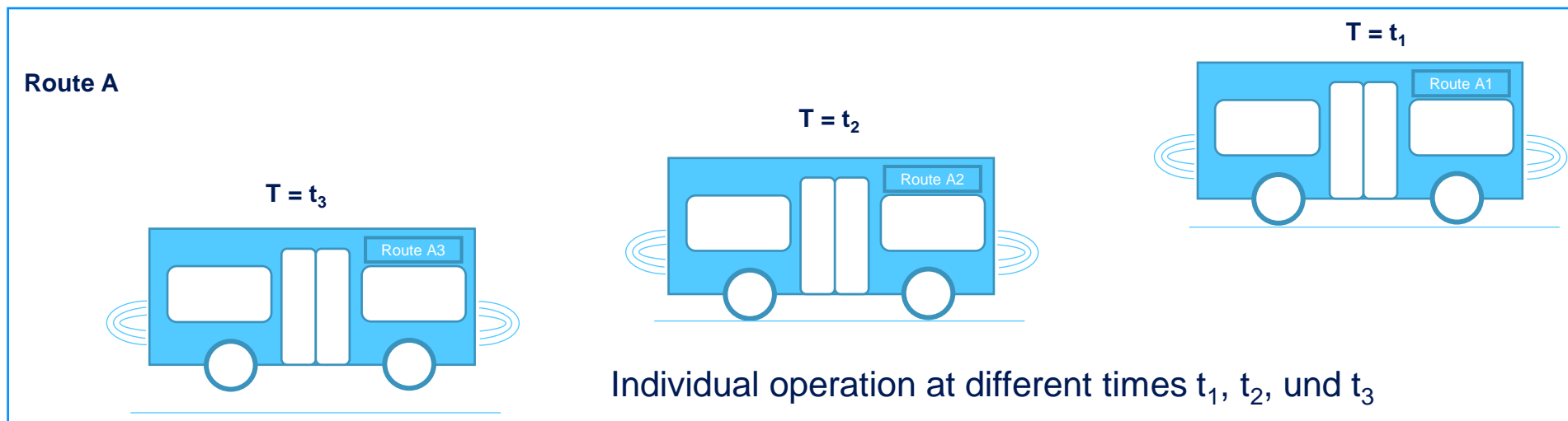
Time	Load Indication	Operational Strategy
Morning	<ul style="list-style-type: none">• Peak load due to shift working and pupil transport	<ul style="list-style-type: none">• Unification of single vehicles (Platoon) to perform peak load → keeping to scheduled services• On-Demand restricted



Source: Tim Alscher „Betriebsstrategien für automatisierte ÖPV-Angebote im ländlichen Raum“, erschienen in Internationales Verkehrswesen, Heft 3, September 2023, 75. Jahrgang

A day of future public transport – ideal conception I

Time	Load Indication	Operational Strategy
Morning	<ul style="list-style-type: none"> Peak load due to shift working and pupil transport 	<ul style="list-style-type: none"> Unification of single vehicles to perform peak load → keeping to scheduled services On-Demand restricted
Daytime	<ul style="list-style-type: none"> Medium load: different requests regarding time and destination 	<ul style="list-style-type: none"> Each vehicle on individual on-demand service (many small vehicles performing individually)



Source: Tim Alscher „Betriebsstrategien für automatisierte ÖPV-Angebote im ländlichen Raum“, erschienen in Internationales Verkehrswesen, Heft 3, September 2023, 75. Jahrgang

A day of future public transport – ideal conception I

Time	Load Indication	Operational Strategy
Morning	<ul style="list-style-type: none">• Peak load due to shift working and pupil transport	<ul style="list-style-type: none">• Unification of single vehicles to perform peak load → keeping to scheduled services• On-Demand restricted
Daytime	<ul style="list-style-type: none">• Medium load: different requests regarding time and destination	<ul style="list-style-type: none">• Each vehicle on individual on-demand service (many small vehicles performing individually)
Afternoon/ Evening hours	<ul style="list-style-type: none">• High load depending on end of school and change of working shifts	<ul style="list-style-type: none">• Platooning of vehicles where necessary• On-Demand available

A day of future public transport – ideal conception I

Time	Load Indication	Operational Strategy
Morning	<ul style="list-style-type: none">• Peak load due to shift working and pupil transport	<ul style="list-style-type: none">• Unification of single vehicles to perform peak load → keeping to scheduled services• On-Demand restricted
Daytime	<ul style="list-style-type: none">• Medium load: Different requests regarding time and destination	<ul style="list-style-type: none">• Each vehicle on individual on-demand service (many small vehicles performing individually)
Afternoon/ Evening hours	<ul style="list-style-type: none">• High load depending on end of school and change of working shifts	<ul style="list-style-type: none">• Platooning of vehicles where necessary• On-Demand available
Night	<ul style="list-style-type: none">• Weak load	<ul style="list-style-type: none">• Each vehicle on individual on-demand service• Preferred time for charging, cleaning, maintenance

Preview

Unser Weg in die Zukunft des ÖV

Systems of Systems Office

- Projektmanagement
- Prozessmanagement
- Architektur
- Einsatz
- Integration
- Freigabemanagement

Level-4 Shuttle

- Basisfahrzeug
- HMI
- Energiemanagement
- AD Stack
- ...

Infrastruktur

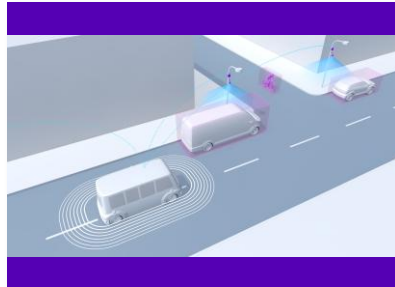
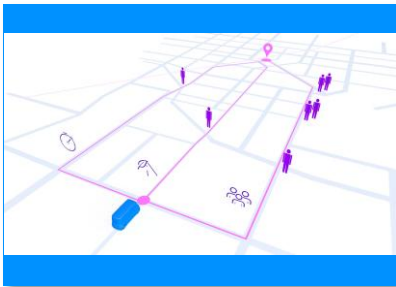
- RSU; LSA
- Laden
- Bushaltestellen
- Cloud-Lösungen
- Konnektivität
- ...

Kontrollzentrum

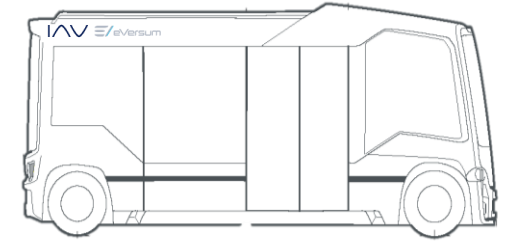
- Technische Aufsicht
- Dispositions-Leitstelle
- Lademanagement
- Koordinierung von Service und Wartung
- ...

Kundenlösungen

- Mobilitätsapp
- Buchungen
- Pooling
- TaaS / MaaS
- ...

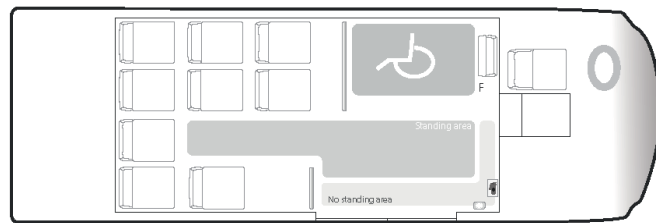
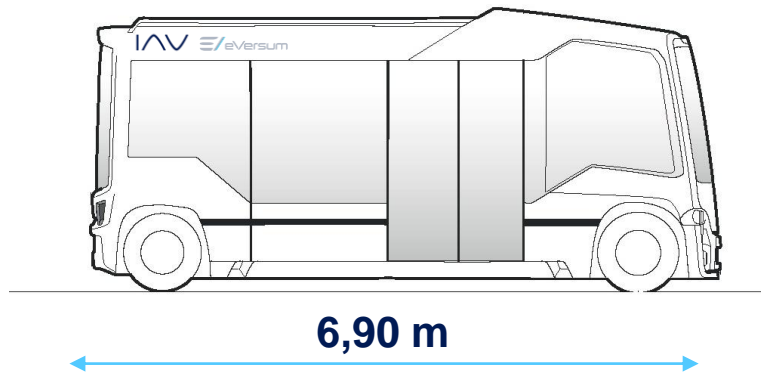


Fahrzeugspezifikationen



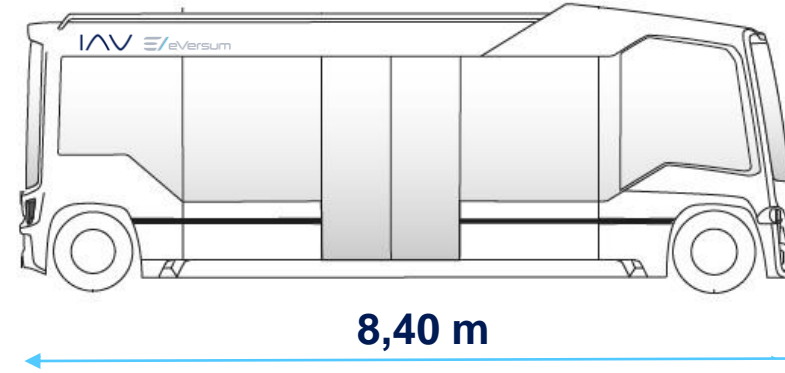
Barrierefreiheit	Komplett niederflurig begehbar
Antriebskonzept	Mehrere batterieelektrische Optionen mit Schnellladung & einer Reichweite von bis zu 250 km
Fahrzeugklasse	UN-ECE M3
Geschwindigkeit	60 km/h (hochautomatisiert)
Fahrumgebung	Städtische und ländliche Straßen
Verordnungen	Zugelassen nach ECE R-107
Autonomes Fahren	Level 4 (mit technischer Aufsicht)
Sensortechnik	Laserscanner, Radar, Kamera
Integration	Vollständige Anbindung an bestehende ÖV-Strukturen

L4-Shuttle: Konfigurationen

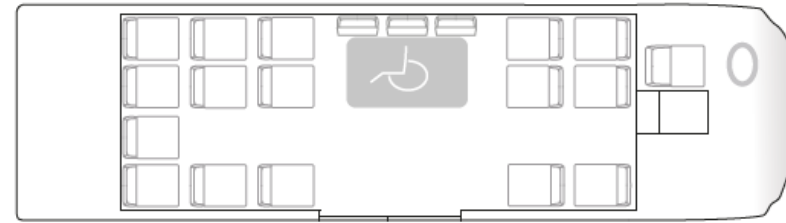


- Bis zu 11 Sitzplätze und weitere Stehplätze

3,20 m



2,30 m



- Bis zu 20 Sitzplätze und weitere Stehplätze

Agenda

1. Vorstellung IAV
2. Es ist Zeit, die Weichen zu stellen! - Problemstellung
3. Perspektiven des Automatisierten Fahrens
4. Innovative Betriebskonzepte
- 5. Offene Forschungsfragen**

Open Questions



When will a real driverless operation be possible?

1. How much is it to implement driverless vehicles in Germany?

- a) Costs of automated vehicles?
- b) Costs and occupancy of control rooms?

2. What is the optimized vehicle size (capacity) for driverless operation?

Kontakt

Tim Alscher

IAV GmbH

Kauffahrtei 25, 09120 Chemnitz (GERMANY)

Phone +49 162 2344-302

tim.alscher@iav.de

www.iav.com



5G-Mobilfunk aus strahlenschutztechnischer Sicht

Christian Bornkessel

Technische Universität Ilmenau / Thüringer Innovationszentrum Mobilität
FG Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik
christian.bornkessel@tu-ilmenau.de



Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK)

- **Unabhängiges Beratungsgremium des Bundesumweltministeriums (BMUV)**
- **Schutz vor Gefahren ionisierender und nichtionisierender Strahlen**
- **Eigener Ausschuss für nichtionisierende Strahlen (A6)**
- **Besetzt mit Experten aus Technik, Biologie, Medizin, Epidemiologie**



Mitglieder der SSK mit Bundesumweltministerin 2014, Quelle SSK



Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK)

- **Unabhängiges Beratungsgremium des Bundesumweltministeriums (BMUV)**
- **Schutz vor Gefahren ionisierender und nichtionisierender Strahlen**
- **Eigener Ausschuss für nichtionisierende Strahlen (A6)**
- **Besetzt mit Experten aus Technik, Biologie, Medizin, Epidemiologie**
- **Stellungnahme zu 5G-Mobilfunk im FR1 (bis ca. 7 GHz)**



Müssen wir uns überhaupt um den Strahlenschutz bei 5G kümmern?

- **Ja, aus Gründen der Risikokommunikation**
- **Ja, da es einige immissionsrelevante technische Neuerungen bei 5G im Vergleich zu den Vorgängertechnologien gibt**
- **Ja, da es noch offene Fragen zu biologischen Wirkungen von Mobilfunkstrahlung gibt**



Gliederung

- Ja, aus Gründen der **Risikokommunikation**
- Ja, da es einige **immissionsrelevante technische Neuerungen bei 5G** im Vergleich zu den Vorgängertechnologien gibt
- Ja, da es noch offene Fragen zu **biologischen Wirkungen von Mobilfunkstrahlung** gibt

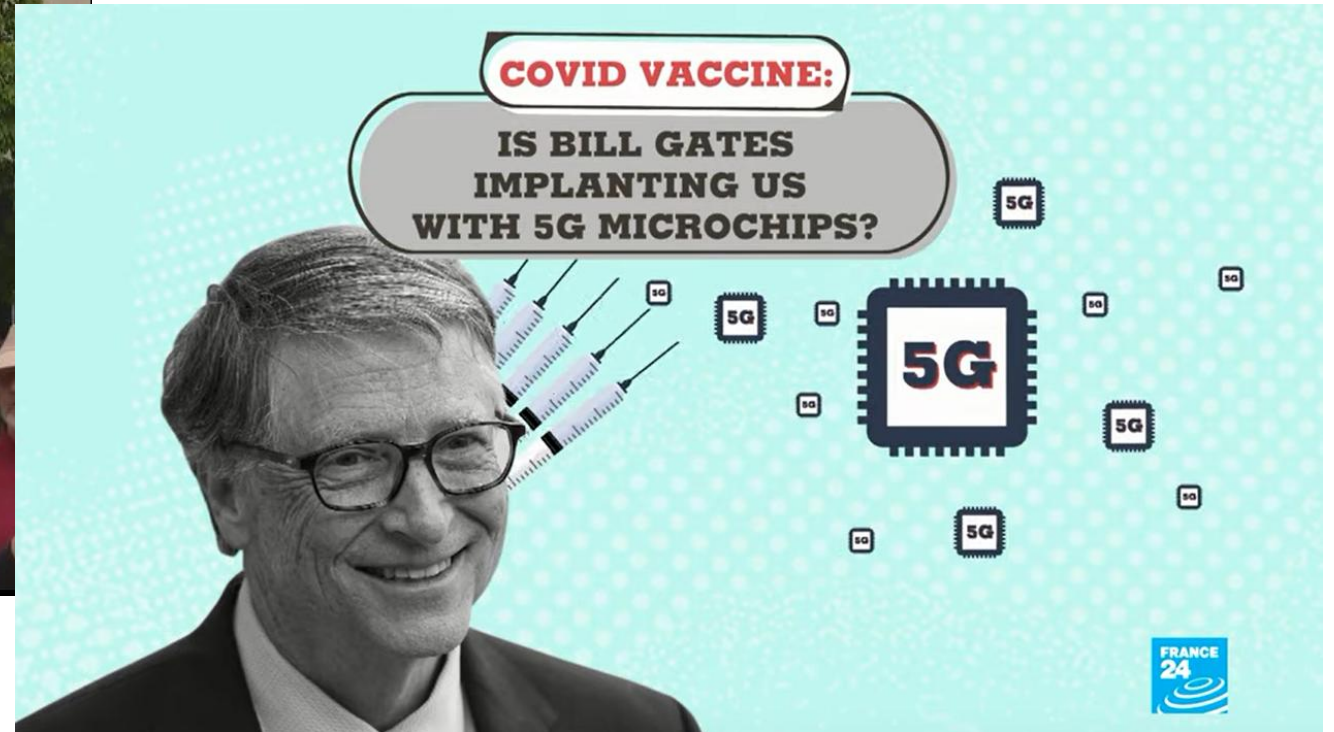


Risikokommunikation

5G-Sicht von mobilfunkkritischen Kreisen



Quelle: Wlos.com



Quelle: FRANCE 24



Thüringer Innovationszentrum
MOBILITÄT

5G aus strahlenschutztechnischer Sicht
Christian Bornkessel, 27.11.2024
Seite 6



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Risikokommunikation

Immissionsmessungen als vertrauensbildende Maßnahme



- Immissionsmessungen durch eine unabhängige Instanz genießen höheres Vertrauen als Berechnungen der Mobilfunknetzbetreiber
- Hohe Anforderungen an fachlich korrekte Messungen → reproduzierbare Messverfahren!



Gliederung

- Risikokommunikation
- **5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien**
- Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung



5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien

Immissionsrelevante Parameter

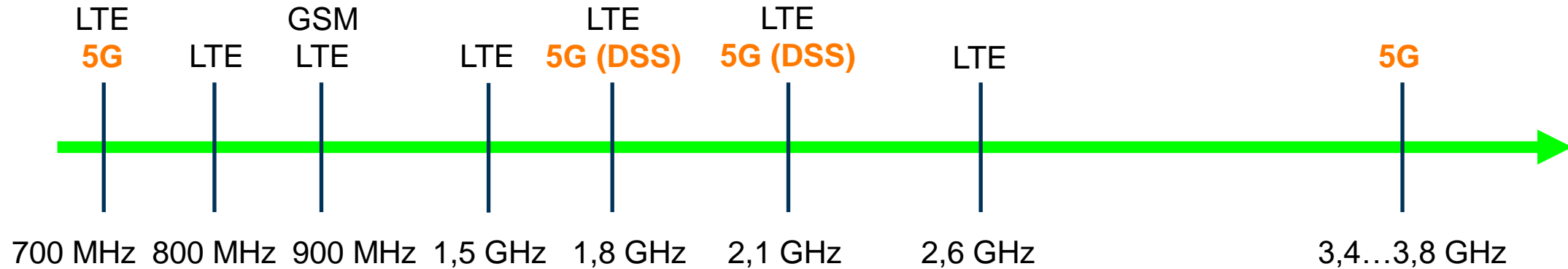
- Für die Größe und Verteilung der Immission (Feldstärke vor Ort) sind anlagenseitig die *Sendeleistung* und die Art der *Sendeantenne* maßgeblich
- Für die Grenzwertausschöpfung ist auch die *Frequenz* maßgeblich

- *Sendeleistung*: spektrale Sendeleistung (Watt/Hz) vergleichbar zu UMTS und LTE; Kanalsendeleistung in gleicher Größenordnung wie bei GSM, UMTS und LTE (Skalierung entsprechend Kanalbandbreite)
- *Sendeantenne und Frequenz* → nächste Folien



5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien

Frequenzen der Mobilfunkdienste in Deutschland (November 2024)



Die derzeit für 5G eingesetzten Frequenzen sind nicht neu:

- 700 MHz: bisher analoges und digitales Fernsehen
- 1,8 GHz: GSM (E-Bänder)
- 2,1 GHz: UMTS
- 3,4...3,8 GHz: WiMAX

DSS: Dynamic spectrum sharing



5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien

Antennenart

Die Art der Antenne ist abhängig vom Stationstyp!



Kleinzelle indoor (Pikozelle)
Einige 10 m Abdeckung
Rundstrahlend oder gerichtet
Antennendiagramm statisch



Kleinzelle outdoor (Mikrozelle)
Bis einige 100 m Abdeckung
Rundstrahlend oder gerichtet
Antennendiagramm statisch



Makrozelle
Bis einige km Abdeckung
Primär gerichtet
Diagramm statisch oder **dynamisch**

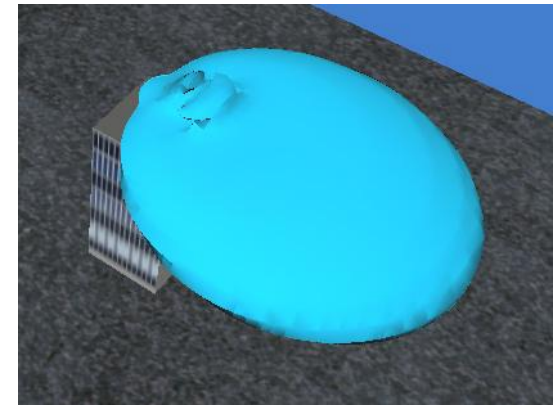
5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Antennenart: Strahlformung, Strahlschwenkung

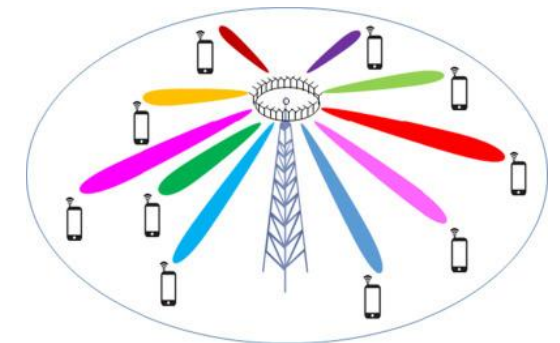
- Bei Makrozellen im Frequenzbereich 3,4...3,8 GHz können strahlformende und strahlschwenkende Antennen eingesetzt werden (sog. Massive MIMO Antennen)
- Strahlbreite an typ. Aufenthaltsorten einige Meter
- Einzelne Strahlungsrichtungen (Beams) werden speziell auf den Nutzer (Mobilgerät) ausgerichtet und ggf. nachgeführt (*dynamische Abstrahlung*)
- Bei anderen Zelltypen oder anderen Frequenzen gibt es diese Möglichkeit nicht!

MIMO: Multiple Input Multiple Output

Statische Abstrahlung



Dynamische Abstrahlung



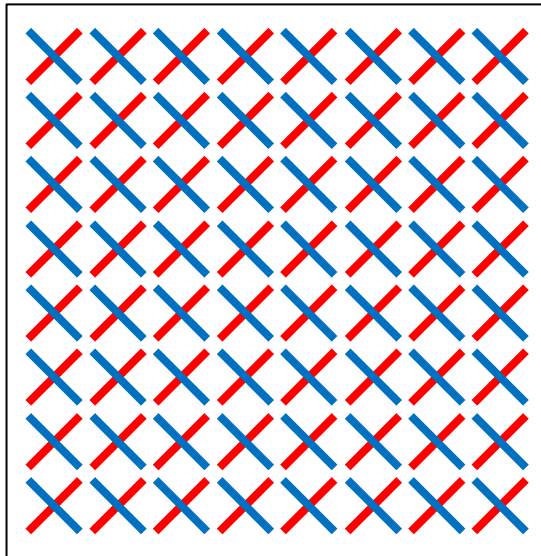
Quelle: Khandaker, Wong



5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien

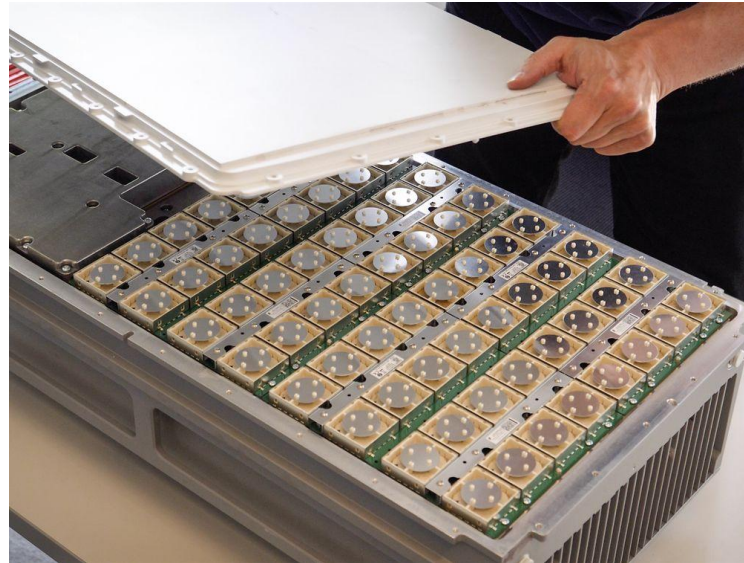
Wie wird Strahlformung und Strahlschwenkung realisiert?

Array mit 8x8x2 Einzelementen



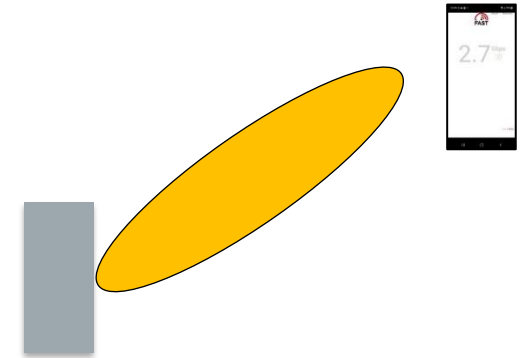
Speisung mit unterschiedlicher Amplitude und Phase

Massive MIMO Antenne in Realität



Quelle: Deutsche Telekom

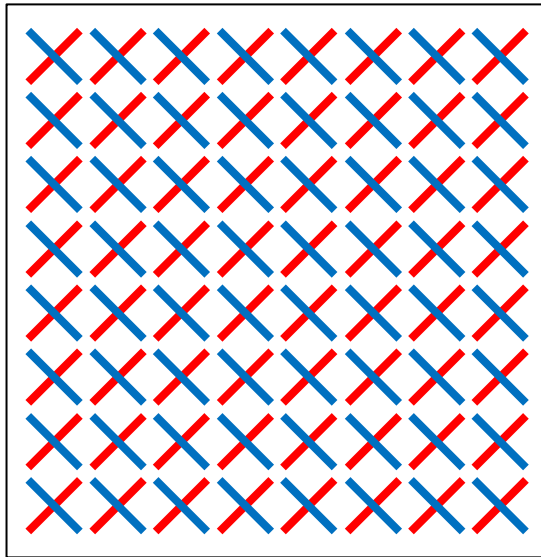
Resultierendes Diagramm



5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien

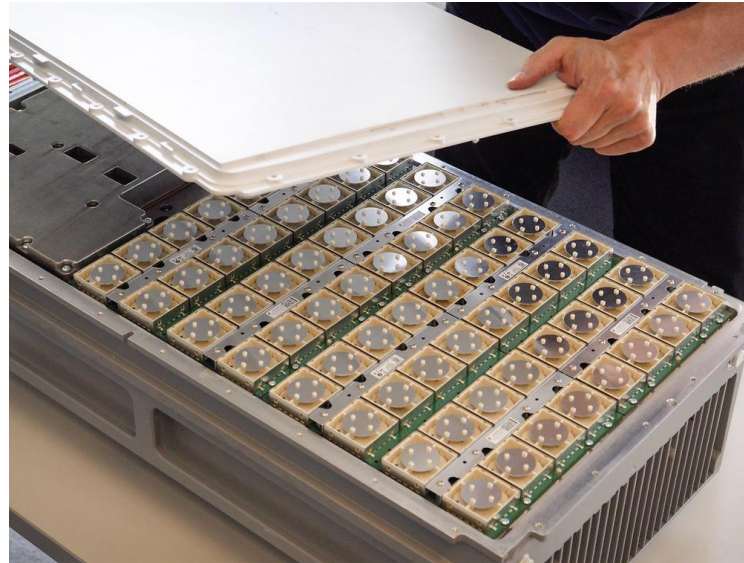
Wie wird Strahlformung und Strahlschwenkung realisiert?

Array mit 8x8x2 Einzelementen



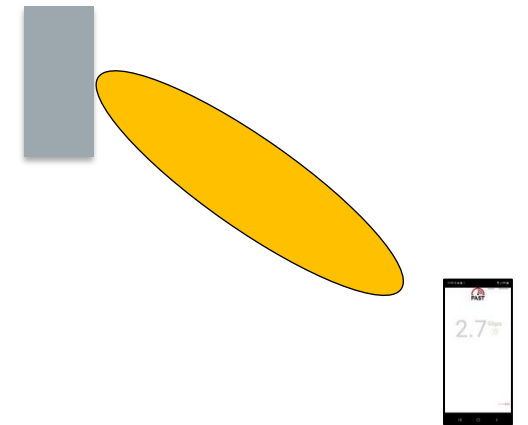
Speisung mit unterschiedlicher Amplitude und Phase

Massive MIMO Antenne in Realität



Quelle: Deutsche Telekom

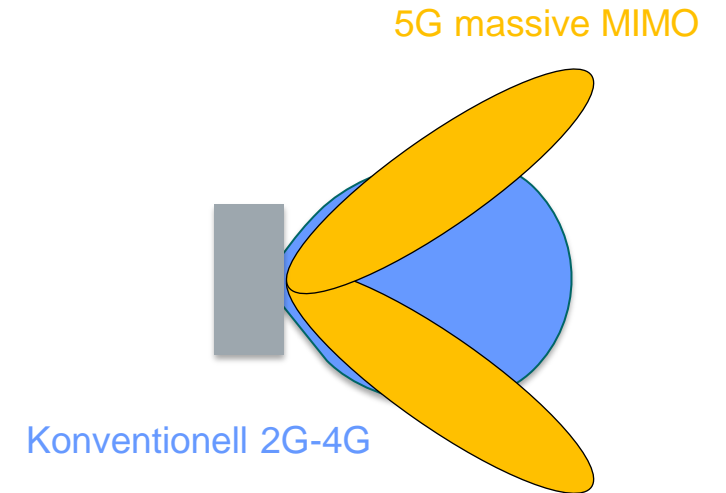
Resultierendes Diagramm



5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien

Auswirkungen auf die Immission

- **Strahlformung bei Massive MIMO Antennen: Antennengewinn 5...7 dB (Faktor 3...5) größer als bei herkömmlichen Antennen**
- **Zusammen mit der größeren Sendeleistung ist in Hauptstrahlrichtung die *Strahlungsleistung* höher (typ. bis 10 dB)**
- **In nicht durch den Strahl erreichten Bereichen ist Immission kleiner als bei GSM, UMTS und LTE!**
- **Bei „Tausch“ von UMTS auf 5G mit Antennen ohne Strahlformung/-schwenkung: Immissionssituation ändert sich nicht!**
- **Messtechnische Begleitung des 5G-Auf- und Ausbaus nötig**
- **5G Massive MIMO erfordert neue Messverfahren**



Gliederung

- Risikokommunikation
- 5G: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu Vorgängertechnologien
- **Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung**



Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung

Grenzwertphilosophie

Nachgewiesener biologischer Effekt



Ermittlung der Wirkschwelle



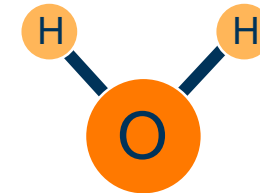
Ermittlung der benötigten Feldintensität



Basisgrenzwert (Sicherheitsfaktor)



Referenzwert



Erwärmung

1° C

SAR: 4 W/kg (ab 6 GHz S_{ab})

0,08 W/kg Ganzkörper,
2...4 W/kg Teilkörper

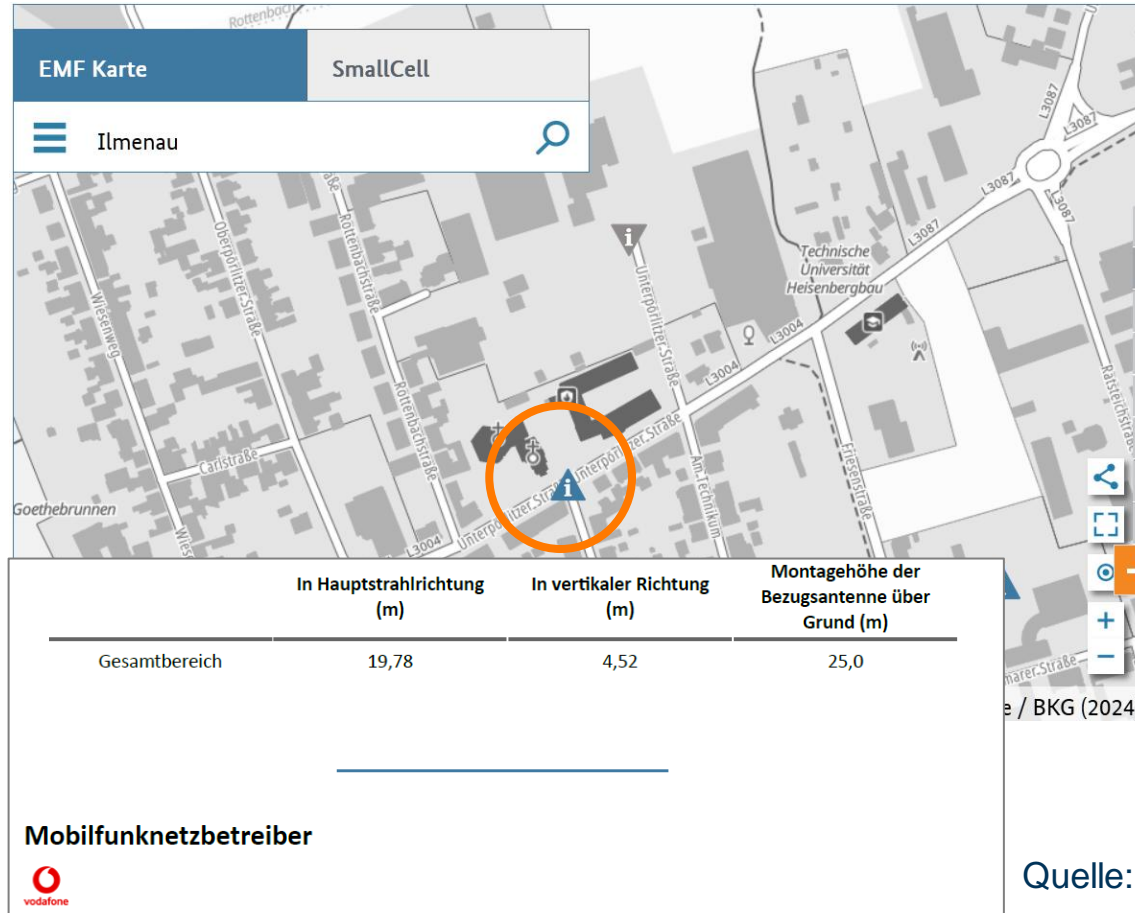
ab 10 MHz: 28...61 V/m
(26. BImSchV)

SAR: Spezifische Absorptionsrate
 S_{ab} : absorbierte Leistungsdichte



Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung

Umsetzung in Deutschland: Standortverfahren



- Für den Gesamtstandort wird ein Sicherheitsabstand berechnet, außerhalb dessen die Grenzwerte eingehalten werden
- Basis: maximale Anlagenauslastung
- Standort wird genehmigt, wenn Allgemeinbevölkerung keinen Zutritt zu Bereichen innerhalb des Sicherheitsabstandes hat

Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung

SSK-Empfehlung zu 5G

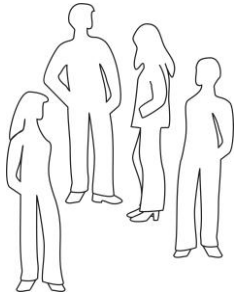
Etablierte Wirkung	Wärmewirkung
Hypothetische Wirkungen	Zelle: <ul style="list-style-type: none">- Oxidativer Stress/ROS- DNA-Schäden
	Organ (hier: Gehirn): <ul style="list-style-type: none">- Blood Brain Barrier- Melatonin- Hirntumoren- Kognition und Gedächtnis- Neurodegenerative Erkrankungen (Alzheimer-Demenz, Amyotrophe Lateralsklerose)
	Organ (hier: Testes): <ul style="list-style-type: none">- Spermienqualität
	Organismus: <ul style="list-style-type: none">- EEG (Schlafstörungen)- ADHS



Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung

Studienarten

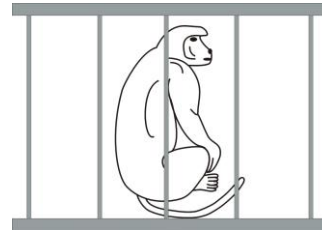
Epidemiologie



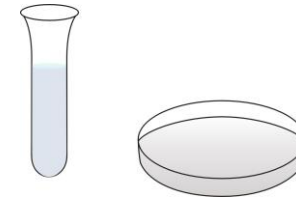
Humanstudien



Tierexperimentelle Studien („in vivo“)



Zellexperimentelle Studien („in vitro“)



... näher an der Gesundheit

...näher am Wirkprinzip

Es kommt auf die *Gesamtschau* aller Ergebnisse an!



Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung

SSK-Empfehlung zu 5G

Endpunkte	Evidenzlinien / Bewertung			
	Epidemiologie	Humanstudien	Tierexperimentelle Studien	Zellexperimentelle Studien
Krebs	0		+/0	+/0
Verhalten	0		+/0	
Kognitive Funktionen	+/0	+/0	+/0	
Zerebraler Blutfluss und Hirnstoffwechsel		0	-	
Schlaf-EEG – Spektralwerte		+		
Schlaf-EEG – Makrostruktur		0		
Ruhe-EEG im Wachzustand		+		
Ereigniskorrelierte und evozierte Potenziale		+/0	+/0	
Autonomes Nervensystem und kardiovaskuläres System	0	-	n.v.	
Neurodegenerative Erkrankungen	0		-	0
Symptome und Wohlbefinden	0	-		
Immunsystem und Hämatologie	0	0	n.v.	n.v.
Fertilität und Fortpflanzung	0	0	+/0	0
Embryonalentwicklung	0		0	n.v.
Andere Organsysteme	0	0	0	n.v.
Gentoxikologie	0	0	+/0	+/0
Oxidativer Stress		0	+	+
Mechanistische Untersuchungen			0	0



Quelle: SSK, EMF des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus



Grenzwerte und aktueller Stand der biologischen Forschung

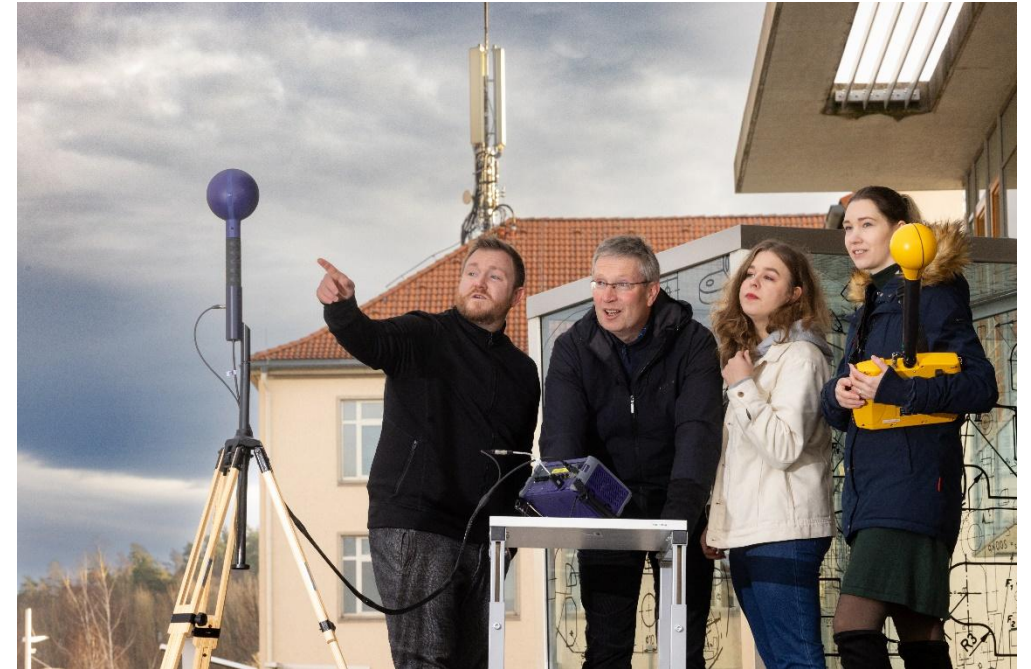
Schlussfolgerungen aus SSK-Empfehlung

- Evidenz für alle evaluierten Gesundheitseffekte ist “abwesend” oder “unzureichend” oder liegt im Grenzbereich zwischen “unzureichend” und “begrenzter Evidenz”
 - Gesundheitsrisiko für das Individuum ist klein, sofern es besteht
 - Möglicher Zusammenhang kann niemals vollständig ausgeschlossen werden
- Für die beobachteten biologischen Effekte (Schlaf- und Wach-EEG, oxidativer Zellstress) ist nicht nachgewiesen, ob sie gesundheitlich relevant sind
- Infolge der verbreiteten Nutzung von Funktechnologien können auch potenziell kleine Risiken gesellschaftlich relevant sein
 - Laufende, technologiebegleitende Evaluierung möglicher Gesundheitsrisiken
 - Aufbau einer Datenbank mit belastbaren Daten zu den durch 5G erzeugten mittleren und maximalen Immissionen → **Durchführung von Messungen**



Zusammenfassung

- **Strahlenschutztechnische Begleitung des 5G Auf- und Ausbaus ist nötig**
 - aus Gründen der Risikokommunikation
 - wegen immissionsrelevanter Neuerungen 5G
 - wegen offener Fragen aus der Forschung
- **Messungen sind wichtiger Bestandteil der strahlenschutztechnischen Begleitung**
- **Im Projekt P:Mover wurden neue Messverfahren entwickelt und zahlreiche Messungen der Momentan- und Maximalimmission durchgeführt**



Quelle: ThIMo

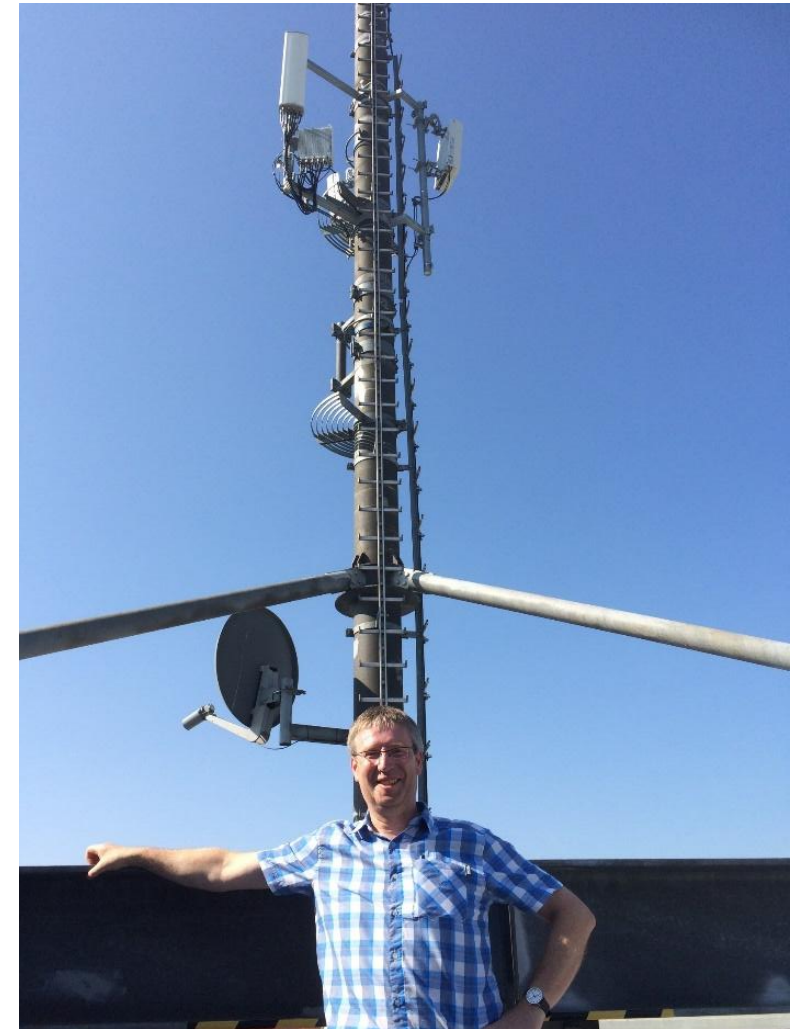


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

>> Haben Sie Fragen oder Anmerkungen?
Bitte kontaktieren Sie mich:

christian.bornkessel@tu-ilmenau.de

Tel. +49-3677.69-1592



P:Mover)))

Pionierregion: „Mobilitätslösungen im
suburbanen Raum vernetzen“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Pionierregion: Mobilitätslösungen im suburbanen Raum vernetzen – P:Mover

Projektvorstellung

Berk Altinel / Projektkoordinator / Stadtverwaltung Ilmenau

Arne Martius / Öffentlichkeitsarbeit / Stadtverwaltung Ilmenau

P:Mover)))



The SPIRIT
of science



5G-Innovationswettbewerb im Rahmen der 5x5G-Strategie (Bundesministerium für Digitales und Verkehr)

Förderschwerpunkt:

Vorbereitung und Umsetzung von Projekten für die Erprobung und Erforschung anwenderbasierter Lösungen unter realen Bedingungen u.a. in den Bereichen

- Energie
- Gesundheit
- Industrie 4.0
- **Verkehr/Mobilität**
- Landwirtschaft und
- Logistik



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

5G-Innovationswettbewerb im Rahmen der 5x5G-Strategie

3-stufiges Förderprogramm:

Stufe I - Die 5G-Forschungsregionen (2019 - Förderung von 6 Forschungseinrichtungen)

Stufe II - Der 5G-Innovationswettbewerb (2020-21 - Konzeptförderung für 67 Kommunen & Kreise)

Stufe III - Die 5G-Umsetzungsförderung (2021-24 - Konzeptumsetzung 50 Städte & Regionen)

Laufzeit Umsetzungsförderung:

3 Jahre von 22.10.2021 bis 31.12.2024

Projektpartner:

Stadt Ilmenau (Koordination)

TU Ilmenau mit dem Thüringer Innovationszentrum Mobilität (kurz: ThIMo)

Funkwerk Systems GmbH

Ginger Lehmann+Partner GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

P:Mover – Anwendungsdomänen

Wirtschaft:

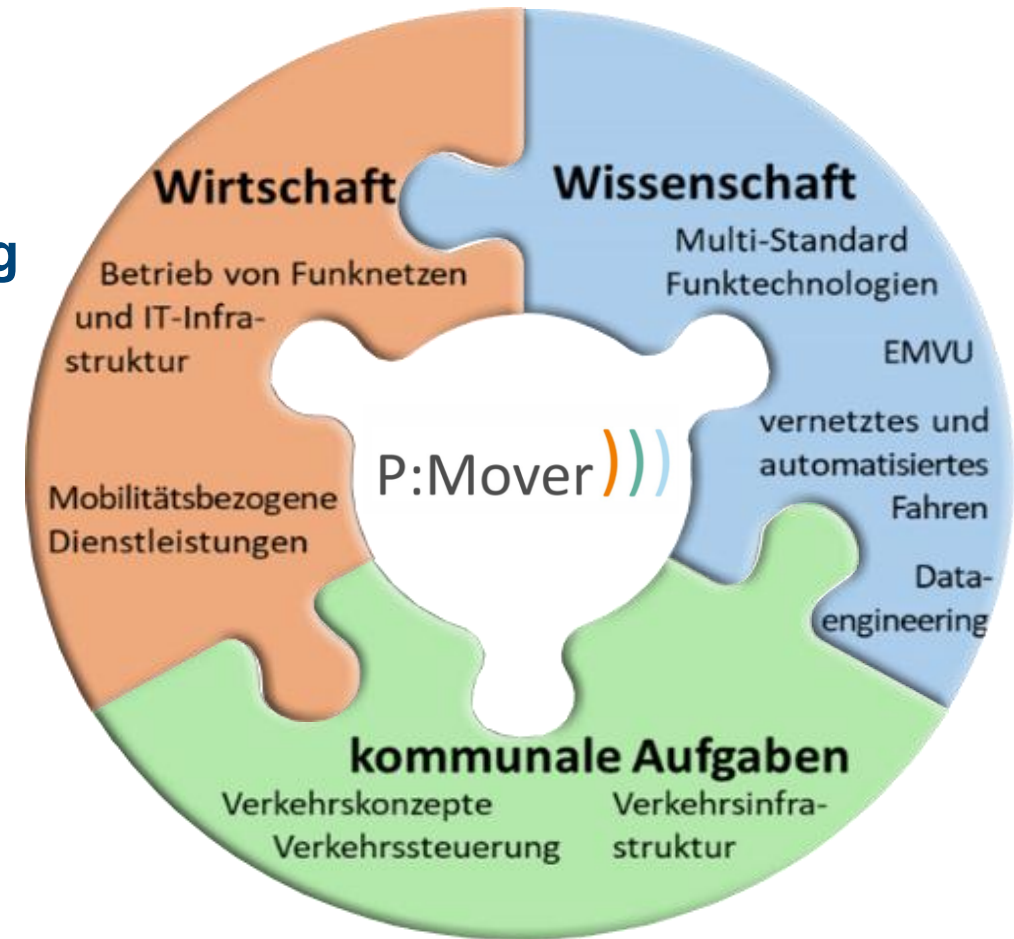
- Einarbeitung und Implementierung eines **intelligenten Beförderungsangebots** mit Fahrgastinformationen
- Effiziente und automatisierte **Straßenzustandserfassung** zur Verkehrsbegutachtung

Wissenschaft:

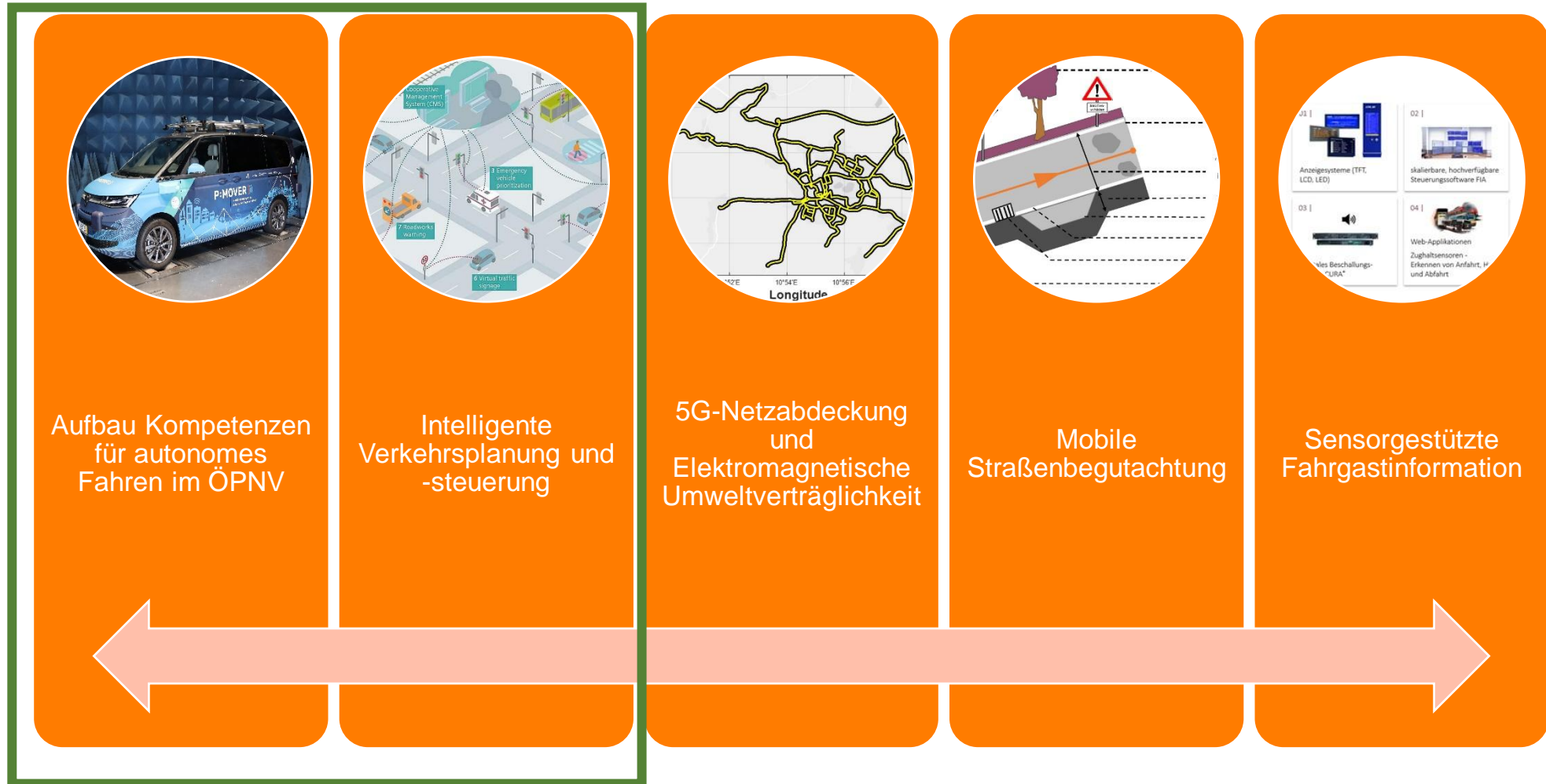
- Bewertung der 5G-Netzabdeckung in der Projektregion für Verkehrsanwendungen
- Begleitforschung zur **elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU)**

kommunale Aufgaben:

- **Digitalisierung und Automatisierung** der Aufgaben im Verkehrssektor
- **Verkehrsplanung, –erfassung und –steuerung** von hochautomatisierten Fahrzeugen



P:Mover – Projektschwerpunkte



P:Mover – Aufbau Kompetenzen für automatisiertes Fahren

Ziel: Erprobung eines L4-fähigen Forschungsfahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr

- Beschaffung des L4-fähigen Forschungsfahrzeug durch europaweites Ausschreibungsverfahren – Vergabe an die IAV GmbH
- Marktsondierung, Lastenheft mit Bewertungsmatrix, Streckenauswahl etc.
- Umbau eines Serienfahrzeuges für Fahrfunktionen nach Automatisierungsstufe 4 (SAE)
- Absprachen zum Sensorsetup und regelmäßige Treffen
- flexibles Sensorsetup mit Blick auf zukünftige Projekte mit anderen Einsatzszenarien
- Schulung von Sicherheitsfahrern
- Gutachten und Straßenzulassungsverfahren

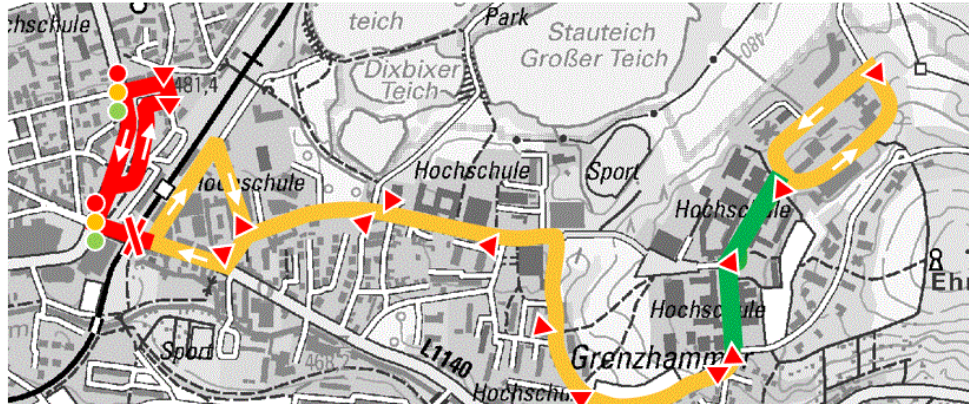


SAE: „Society of Automotive Engineers“

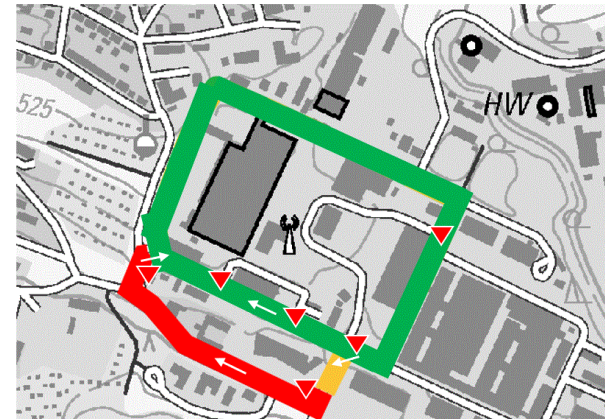
P:Mover – Aufbau Kompetenzen für automatisiertes Fahren

Ziel: Erprobung eines L4-fähigen Forschungsfahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr

- Zulassung des automatisiertes Fahrbetriebs auf zwei Verkehrsrouten im Stadtgebiet Ilmenau



Strecke 1: Bahnhof Ilmenau – TU Campus – Berufsschule



Strecke 2: Gewerbegebiet „Am Vogelherd“

Strecke 1: 2,9 km → 8 Haltestellen
Strecke 2: 2,2 km → 3 Haltestellen

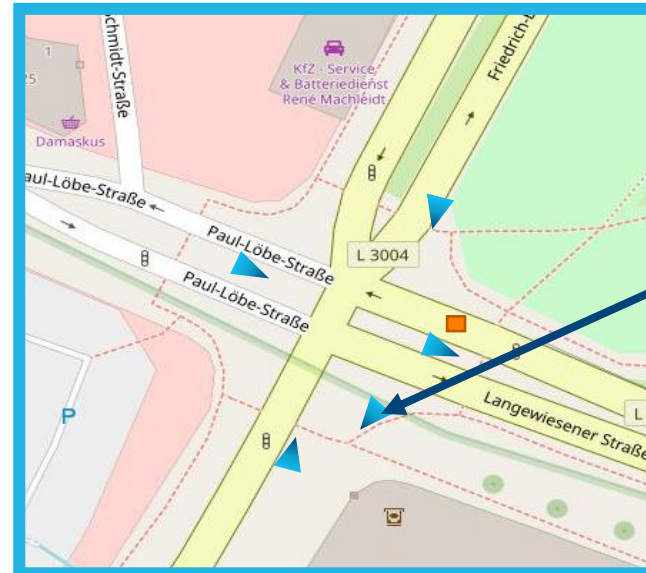
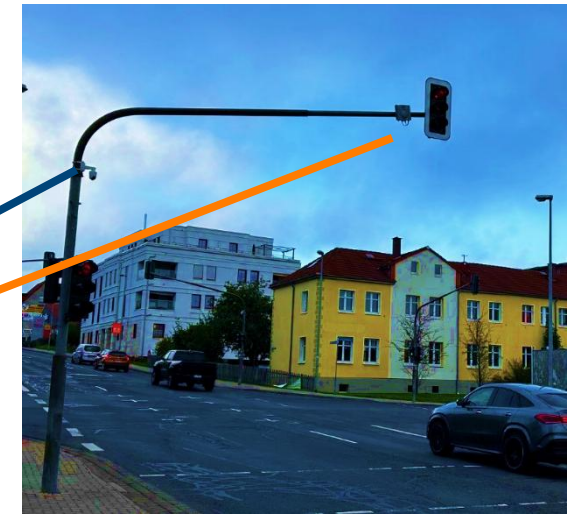
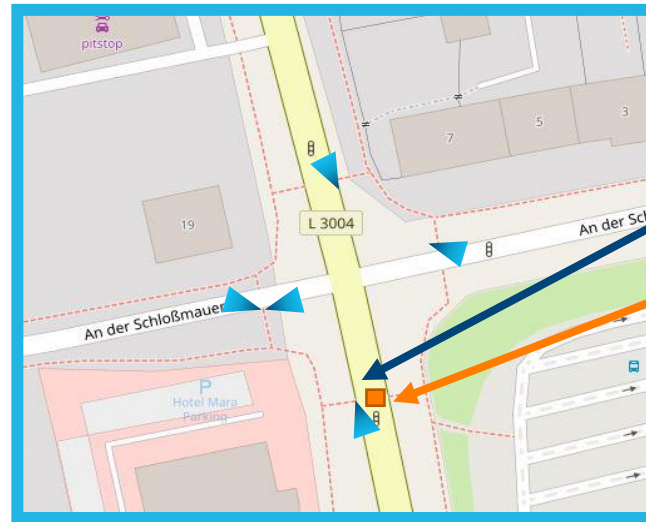
- simuliertes Anfahren der Haltestellen → um die ÖPNV Charakteristik zu erproben (keine Personenbeförderung)
- Sensoren (Kameras und „Road Side Units“) eingesetzt auf der Strecke 1
→ Verknüpfung von Forschungsfahrzeug und Ampelkreuzungen



P:Mover – Intelligente Verkehrsplanung und -steuerung

Ziel: Einsatz von Sensoren zu Steuerung des Verkehrsflusses an Knotenpunkten im Stadtgebiet Ilmenau

- V2X-Funkmodule (RSU) und Kameras an zwei Kreuzungen
- Insgesamt fünf Kameras und eine RSU pro Kreuzung
- Datenschutzkonforme Klassifizierung von Verkehrsteilnehmern mit einem System von Yunex Traffic GmbH

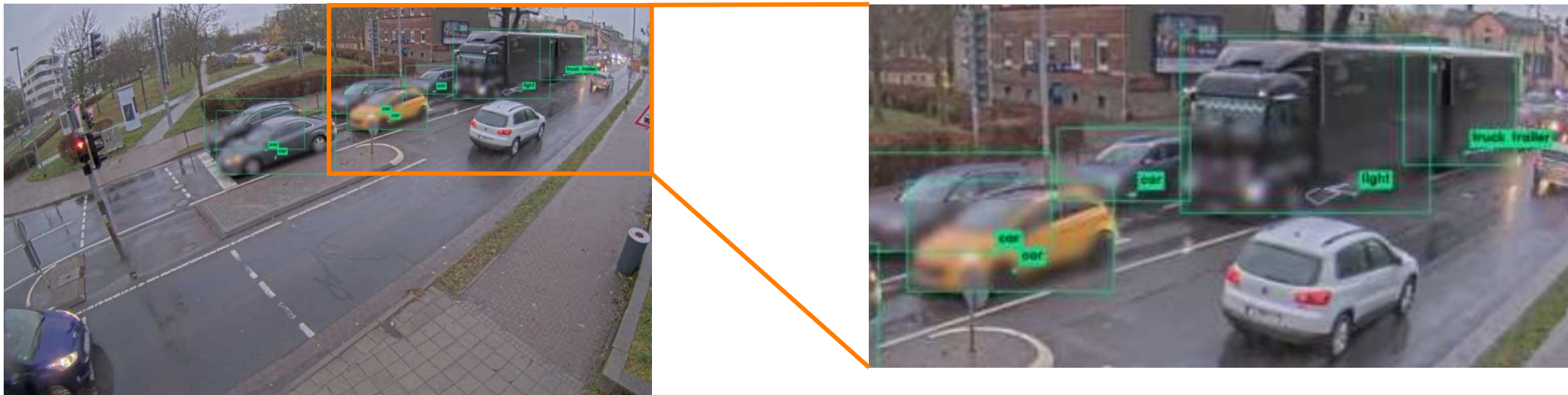


Kamera ▲
RSU ■

P:Mover – Intelligente Verkehrsplanung und -steuerung

Kamera-basierte Verkehrsflussoptimierungssystem

- Detektion und Klassifizierung von Verkehrsteilnehmern, Objekttrajektorien und Bewegungsmustern
- Dynamische Adaption der LSA Steuerung z.B. längere Grünphase für ÖPNV (Priorisierung ÖPNV oder Rettungsfahrzeuge)



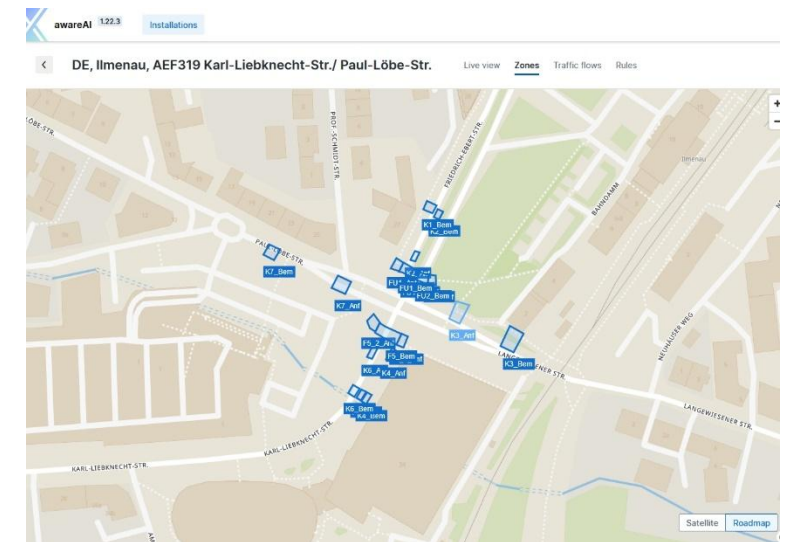
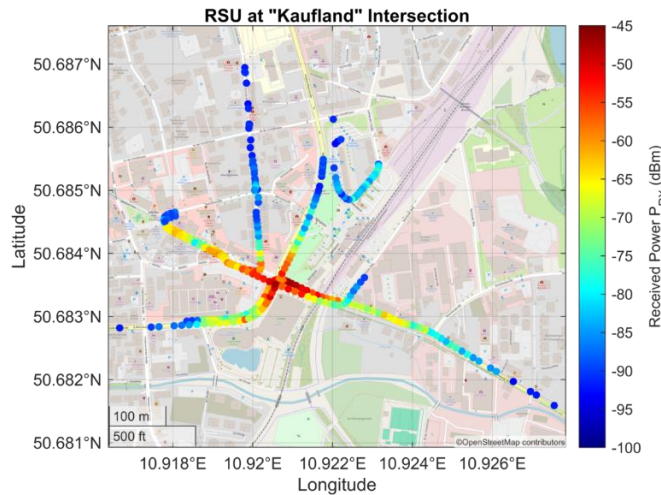
P:Mover – Intelligente Verkehrsplanung und -steuerung

„Road Side Units“

- Übermittlung von Verkehrsinformationen durch V2X Kommunikation (C-V2X und ITS-G5)
- Effizienter Fahrverhalten durch Übertragung von LSA-Signalzeiten (GLOSA) → Signal2X App von Yunex Traffic GmbH



Breitbandige Systemanbindung mittels 5G an einen Cloud-Server



GLOSA: Green Light Optimal Speed Advisory

Öffentlichkeitsarbeit

1. Analyse und Strategieentwicklung

- Koordination der Öffentlichkeitsarbeit
- Aufbau einer Webpräsenz unter www.ilmenau.de/pmover
- Begleitung des Prozesses der Findung des Fahrzeugdesigns
- Medieninformationen und Verknüpfung von P:Mover mit anderen Themen wie Mobilität oder Demografie

Zielstellung: Image von P:Mover als Instrument zur Verbesserung der Lebensqualität im ländlichen Raum

The collage features several elements:

- ILMENAU Innovative Mobilität** logo with the tagline "wird real".
- QR codes linking to the project website.
- Text snippets:
 - "P:Mover ein wichtiger Schritt zu höherer Autonomie und besserer Vernetzung"
 - "Das Thüringer Innovationszentrum Mobilität"
 - "Die Stadt Ilmenau lebendige Feiertage großer Ideen"
 - "ILMENAU Innovative Mobilität wird real"
- Images of the P:Mover vehicle and people interacting with it.



Öffentlichkeitsarbeit

2. Kommunikation

- Beiträge im Amtsblatt der Stadt Ilmenau und veröffentlichte Medieninformationen in Regionalzeitungen
- Nutzung der sozialen Netzwerke der Stadt Ilmenau, um das Projekt im Gespräch zu halten
- einfaches Erklärvideo zum Einstieg mit Interviews aller Beteiligten
- regelmäßige Aktualisierung der Webseite
- Begleitung professioneller Dreharbeiten für einen Film der Projektfamilie des Thüringer Innovationszentrums Mobilität

Intelligente Verkehrslösungen werden im Ilmenauer Projekt P:Mover erforscht

P:Mover)))

Wie kann der ländliche Raum besser mit der Stadt verknüpft werden? Diese Frage stellt sich in Ilmenau seit der Gebietsreform, bei der die Fläche der Kommune auf das Dreifache wuchs. Hinzu kommen eine anspruchsvolle Topografie und ausgeprägte Jahreszeiten durch die Lage im Thüringer Wald. Als moderne Stadt mit Sitz einer Technischen Universität und "smart city"-Ambitionen wird Ilmenau somit zum idealen Reallabor. Im Projekt P:Mover forschen Unternehmer und Wissenschaftler gemeinsam an intelligenten Verkehrslösungen, die für den Strukturwandel des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) von überregionaler Bedeutung sind.



Automatisierte Fahrzeuge kombiniert mit der neuesten Mobilfunkgeneration

Ein hoher Automatisierungsgrad von Fahrzeugen kombiniert mit der neuesten Mobilfunkgeneration bietet Raum für Innovationen. Die leistungsfähige Echtzeit-Datenverbindung des 5G-Netzes ist nicht nur die Grundlage für einen perspektivisch autonomen Personennahverkehr. Sie eröffnet außerdem neue Möglichkeiten für Fahrgastinformationssysteme und kommunale Aufgaben wie die Straßenzustandsüberwachung. Im Projekt P:Mover werden die Herausforderungen der Zukunft bearbeitet.



Gefördert durch:



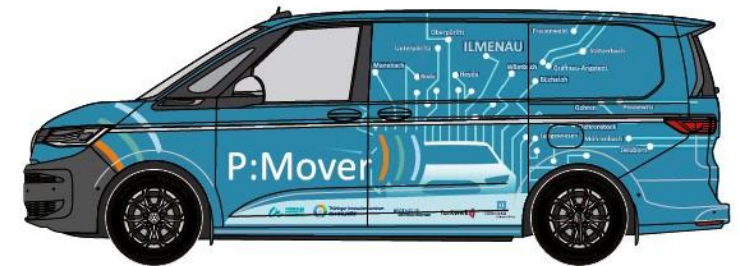
Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Öffentlichkeitsarbeit

3. Präsentationen und Fahrzeugdesign

- Begleitung der Entstehung des Fahrzeugdesigns durch Wettbewerbsverfahren mit vier verschiedenen Entwürfen



Öffentlichkeitsarbeit

3. Präsentationen und Fahrzeugdesign

- Begleitung der Entstehung des Fahrzeugdesigns durch Wettbewerbsverfahren mit vier verschiedenen Entwürfen
- Präsentation von P:Mover durch das ThIMo beim Thüringer Forum Mobilität in Bad Blankenburg
- Vorbereitung der Präsentation des Fahrzeugs im Projekt P:Mover in der Öffentlichkeit
- Mitwirkung bei der Vorbereitung der Abschlussveranstaltung

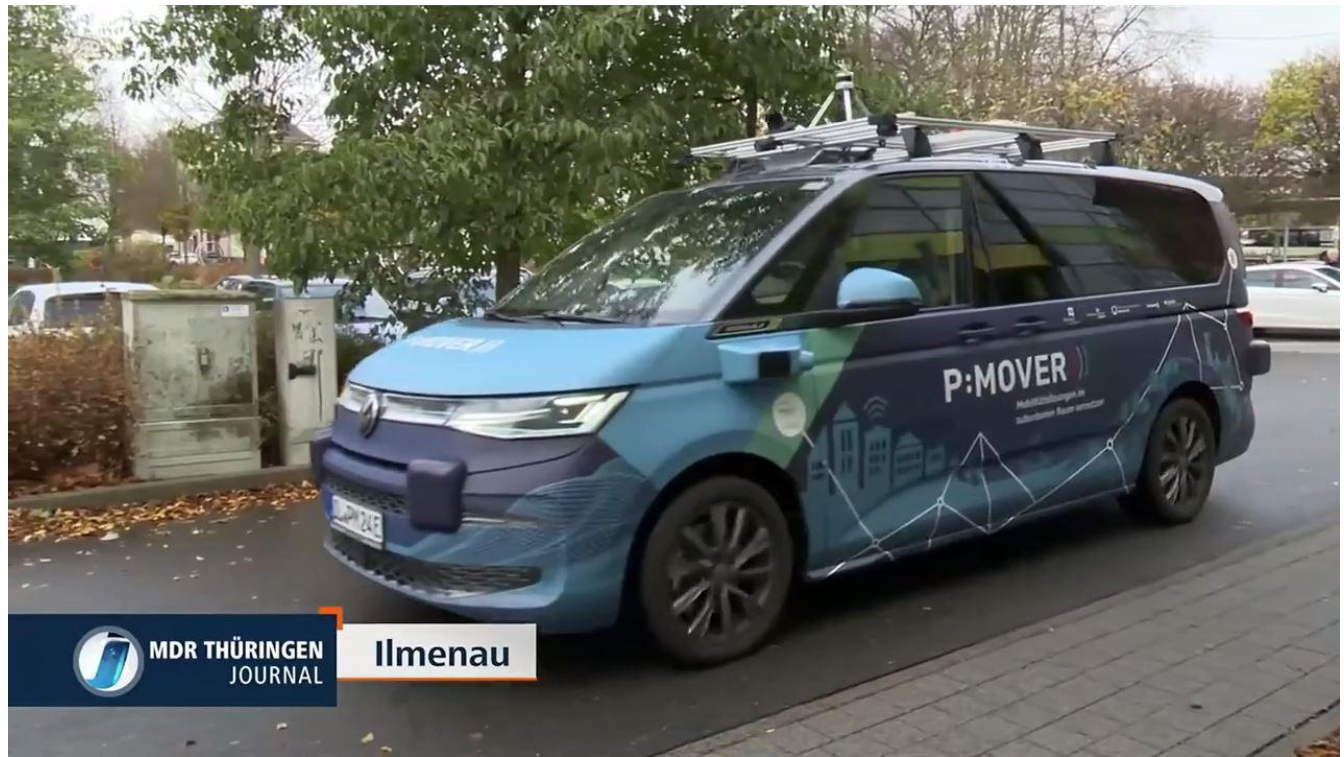


Öffentlichkeitsarbeit

4. Fahrzeugvorstellung und P:Mover-Flyer mit der ThIMo-Projektfamilie

- 14. November 2024: Vorstellung des Fahrzeugs vor lokalen und regionalen Medien (u.a. Erwähnung im Thüringen-Journal des MDR)
- Entstehung eines gemeinsamen Flyers, der neben P:Mover auch Einblick in die Projektfamilie des ThIMo gibt

Ziel: Mit verständlicher Sprache die Bürgerinnen und Bürger über die Anstrengungen auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens zu informieren



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Wir stehen gerne zur Verfügung für weitere Fragen

Stadtverwaltung Ilmenau
Berk Altinel
Arne Martius
p.mover@ilmenau.de
www.ilmenau.de/pmover



Wissenschaftliche Domäne: Projektinhalte und Ergebnisse

Thüringer Innovationszentrum Mobilität, Technische Universität Ilmenau

Erschließung der Straße als 5G-Reallabor

Höhere Fahrautomatisierungsstufen und bessere Vernetzung

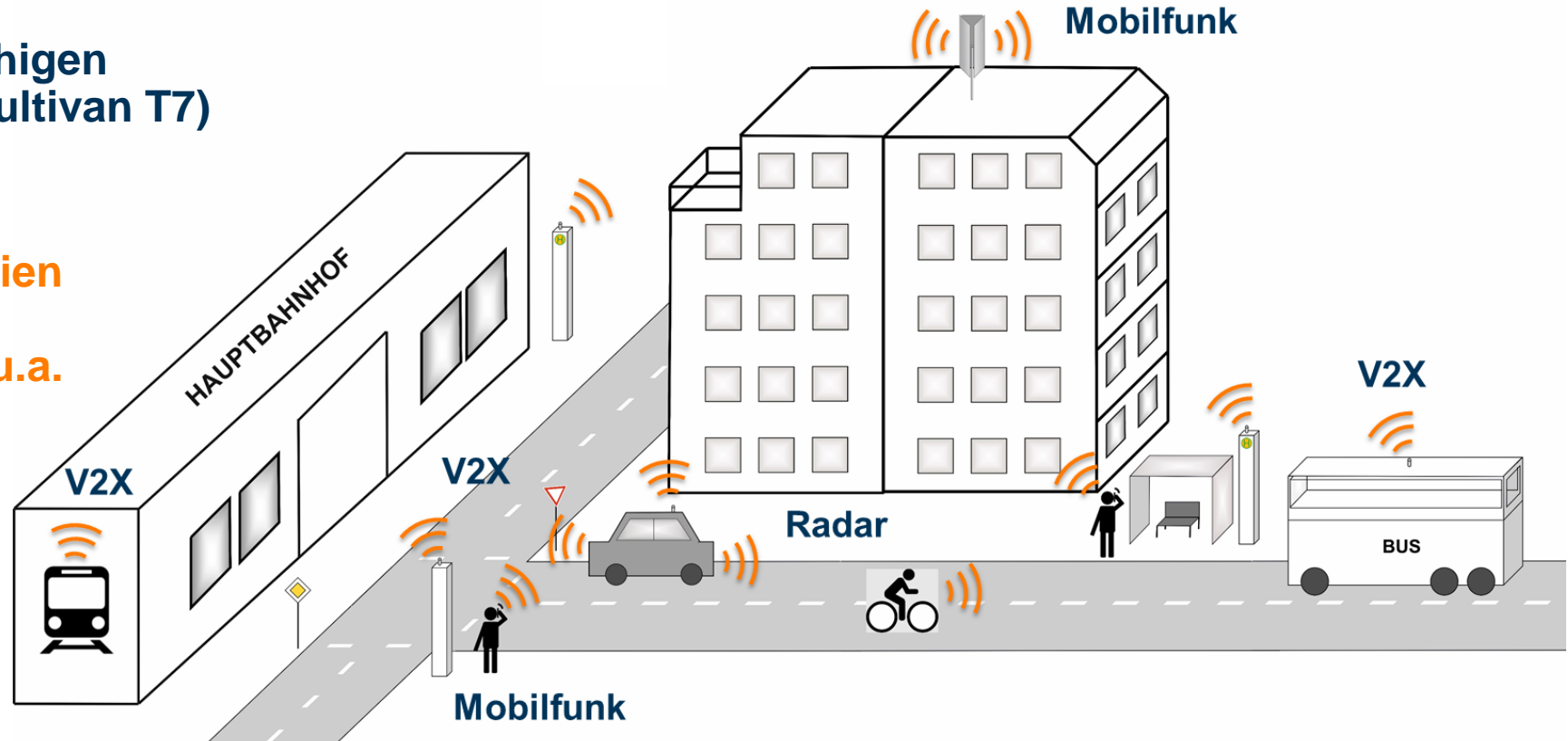
- Einsatz hochautomatisierter Fahrzeuge im ÖPNV

- Beschaffung eines L4-fähigen Fahrzeugs (Basis: VW Multivan T7) auf zwei ausgewählten städtischen Routen

- Erforderliche Funktechnologien aus verschiedenen Bereichen im Projektgebiet, u.a.

- 4G- und 5G-Mobilfunk
- V2X-Kommunikation

- Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlicher und kommunaler Domäne



V2X: vehicle-to-everything

ThIMo – Forschungsoffensive Digitale Mobilität

Überblick der Beiträge in P:Mover

• Automatisiertes Fahren

- Rechentechnik und Sensorkomponenten (u.a. Kamera, LIDAR, Radar) zur Umrüstung des Basisfahrzeugs
- Ausbildung von Sicherheitsfahrern
- HD-Karten für zwei städtische Routen
- Künftig: Aktualisierung bestehender und Implementierung weiterer Routen für automatisierten Fahrbetrieb

• Vernetzung des Straßenverkehrs

- Unterstützung beim Ausbau der Funkinfrastruktur
- Servertechnik für neue Datennetze

• 5G-Mobilfunk

- Bewertung der **Funknetzabdeckung** für Anwendungsfälle des automatisierten Fahrens
- Studien zur **elektromagnetischen Umweltverträglichkeit**



ThIMo: Thüringer Innovationszentrum Mobilität; LIDAR: light detection and ranging

Bewertung der Funknetzabdeckung

Messtechnische Umsetzung

Netzabdeckung (passiv)

- Auswertung der Empfangsleistung von Signalisierungs- und Referenz-Signalen der Mobilfunk-Basisstationen (unabhängig vom Netzbetreiber)
Rohde & Schwarz - Netzwerkscanner

Netzwerkperformance (aktiv)

- Applikationsnahe Tests mit Endgerät (UE)
QualiPoc Smartphone - Samsung S22+
- Dienstgüte-Bewertung (QoS) anhand des provozierten Datenverkehrs (nach ITU-T G.1051)

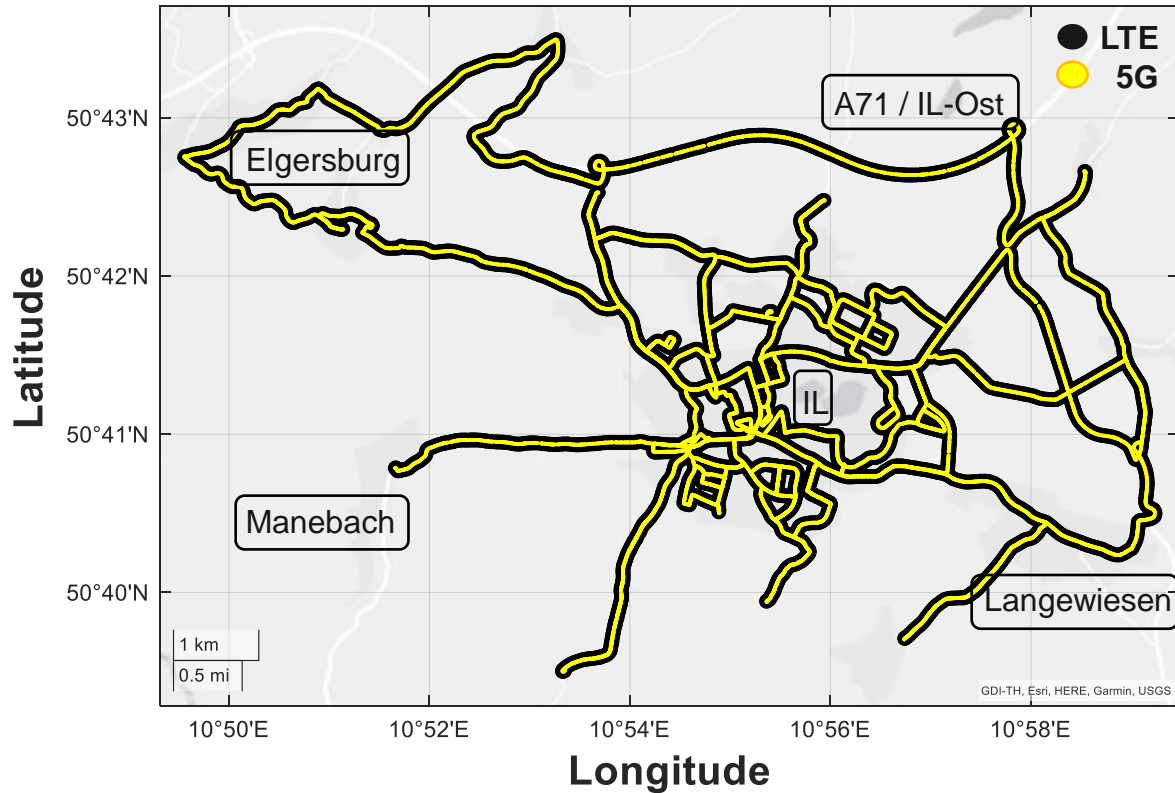


ITU-T: International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector
QoS: Quality of Service; UE: user equipment

Bewertung der Funknetzabdeckung

Ergebnisse im Stadtgebiet Ilmenau und ländlichen Umland

Beispiel: LTE bzw. 5G Verfügbarkeit



Fläche:

ca. 200 km²

Geografische Prägung:

suburban / ländlich

Untersuchte Straßen:

120 km

Mobilfunk-Versorgung:

GSM, LTE, 5G
(je 3 Netzbetreiber)

**Anzahl verfügbarer
Basisstationen:**

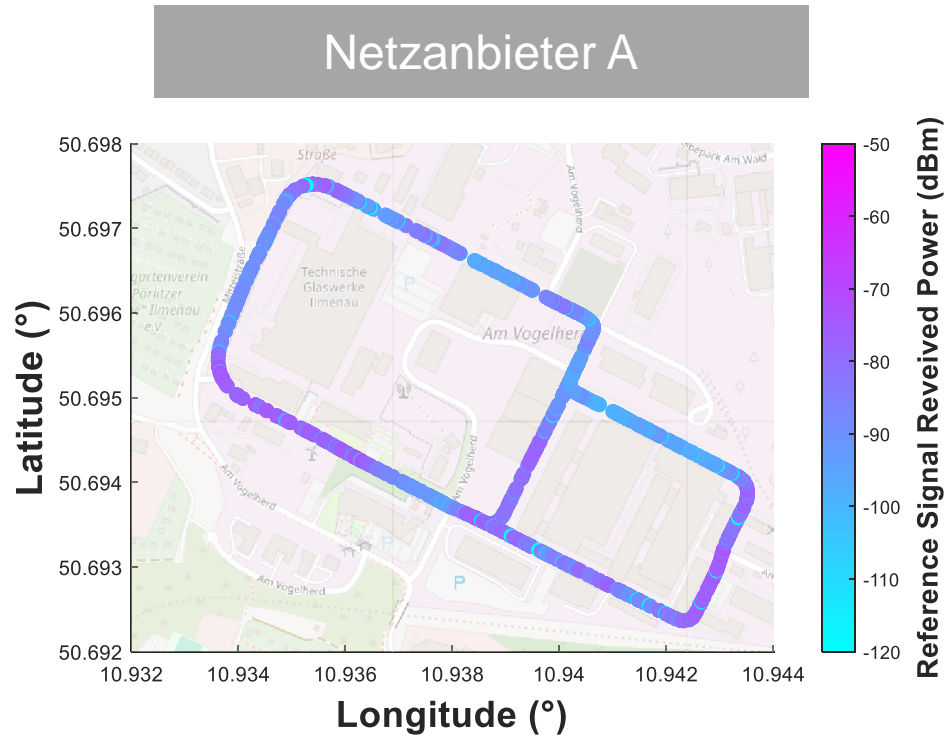
ca. 105



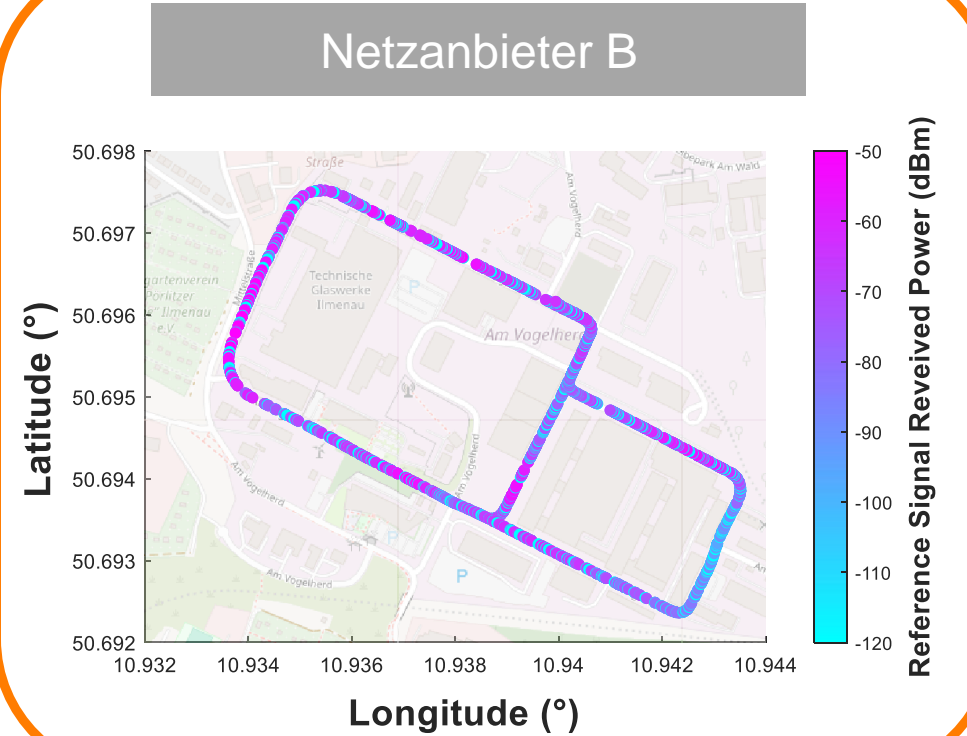
- Durchgängige LTE + 5G Verfügbarkeit
- Leistungsstarkes 5G massive MIMO nur an wenigen Standorten in der Stadt verfügbar
- Wie gut ist die Verbindung bzw. wie leistungsstark ist die Netzanbindung?

Bewertung der Funknetzabdeckung

5G-Versorgung je Netzanbieter „Am Vogelherd“ (*best serving cell*)



Gut
...Netzabdeckung...
Schlecht



RSRP: *reference signal received power*

- Keine Netzunterbrechungen vorhanden
- Leistungsfähigkeit variiert je Netzbetreiber

- Analyse der Umsetzbarkeit von 5GAA Use Cases anhand definierter Kommunikationsprofile

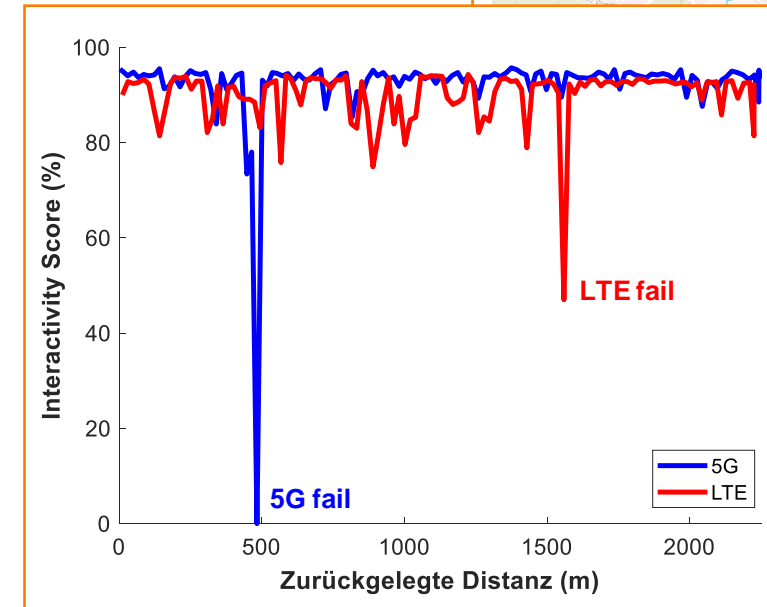
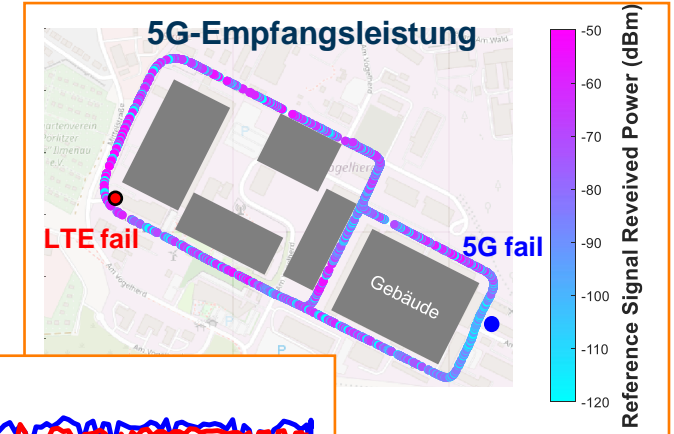
Bewertung der Funknetzabdeckung

Netzwerkperformance „Am Vogelherd“

- Provozierter Datenverkehr / Kommunikationsprofil gemäß 3GPP ETSI TR 103 702: **“HD Streaming / Video Chat HD“**
 - Video-Liveübertragung beim teleoperierten Fahren
- „Interactivity score“ (Datenrate, Latenz und Zuverlässigkeit) bewertet **Umsetzbarkeit von Anwendungsszenarien**

Schlussfolgerungen zur Netzabdeckung:

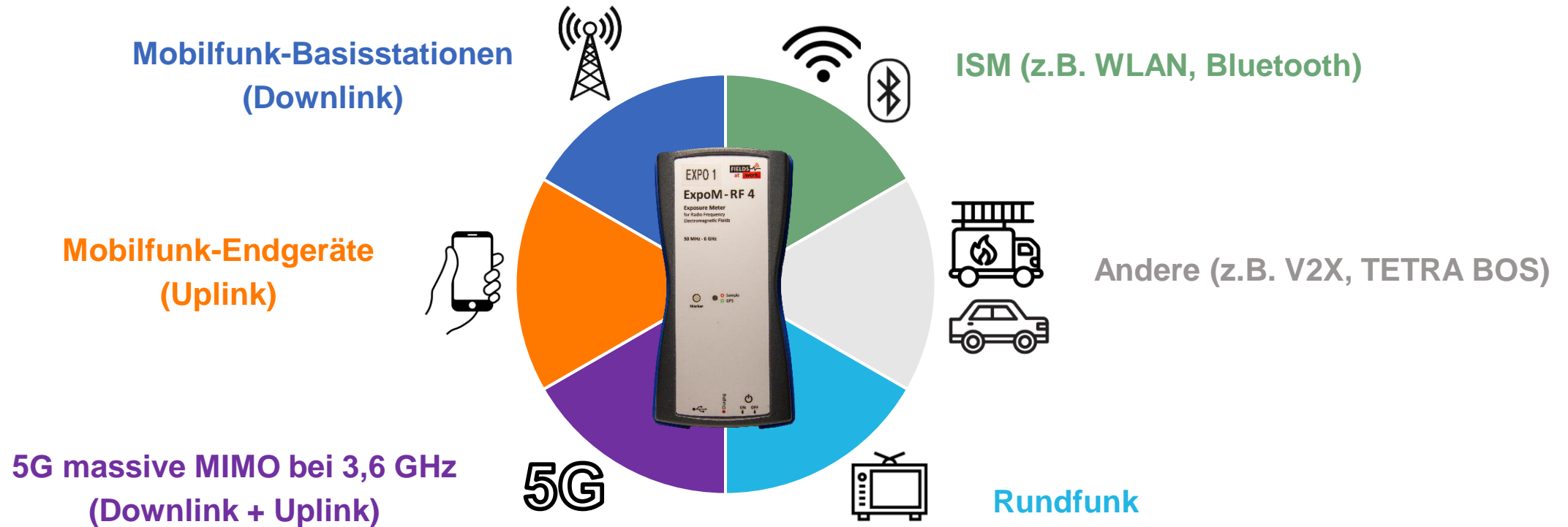
- ✓ Standard-konformes Messkonzept ermöglicht einen standortübergreifenden Vergleich der Netzwerkperformance
- ✓ L4-fähiges Fahrzeug ist mit derzeitiger Mobilfunkversorgung in ausgewählten ODD betriebsfähig (Forschungszulassung mit Sicherheitsfahrer)
 - ggf. Multi-Provider Lösungen erforderlich!



ODD: operational design domain

Bewertung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit

Ermittlung der hochfrequenten Immission für den Strahlenschutz

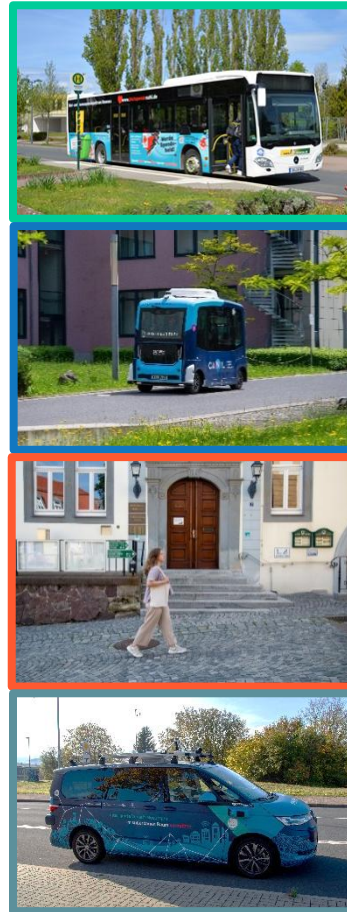


- Durchführung von Immissionsmessungen im Stadtgebiet Ilmenau
- Erarbeitung einer kommunalen Handreichung zu strahlenschutztechnischen Aspekten im 5G-Mobilfunk

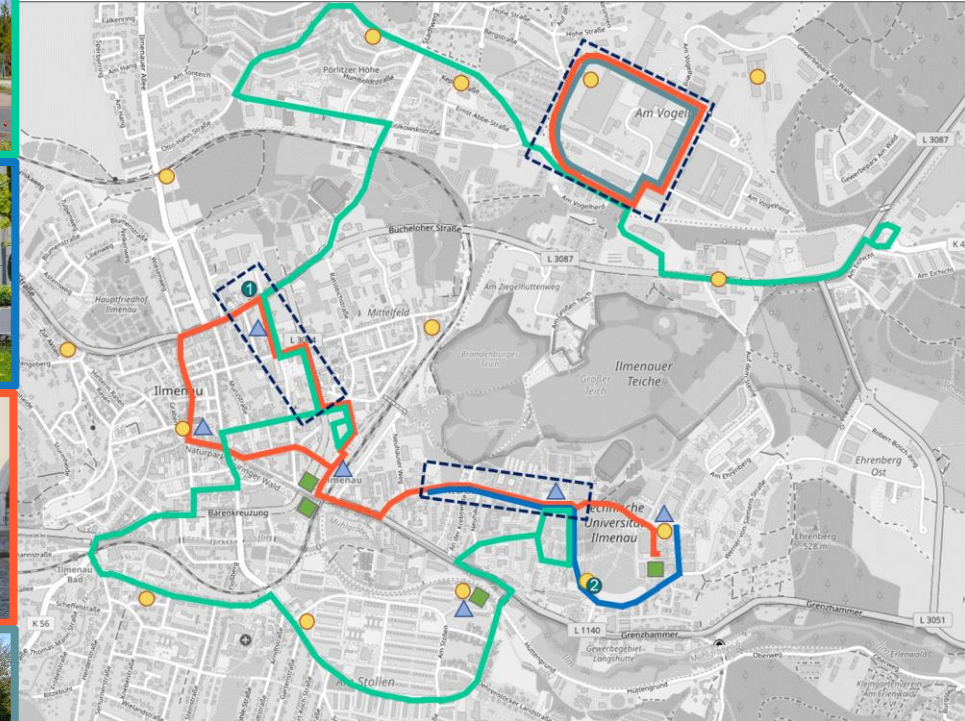
Bewertung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit

Auswahl der Messkampagnen

- Untersuchung verschiedener **Alltagsszenarien** und Orte (ÖPNV, Campus, Stadtzentrum, 5G-Mobilfunkbasisstationen)
- Nicht-stationäre **Routenmessungen** und stationäre **Langzeitmessungen**
- Bewertung der theoretischen **Maximalimmission** im Vergleich zur lastabhängigen **Momentanimmission**
- Vergleichsmessungen inner- und außerhalb verschiedener **Fahrzeuge**:
 - Konventionelle Busse (nicht-automatisiert)
 - automatisiert Level 2 (CAMIL)
 - automatisiert Level 4-fähig (P:Mover)



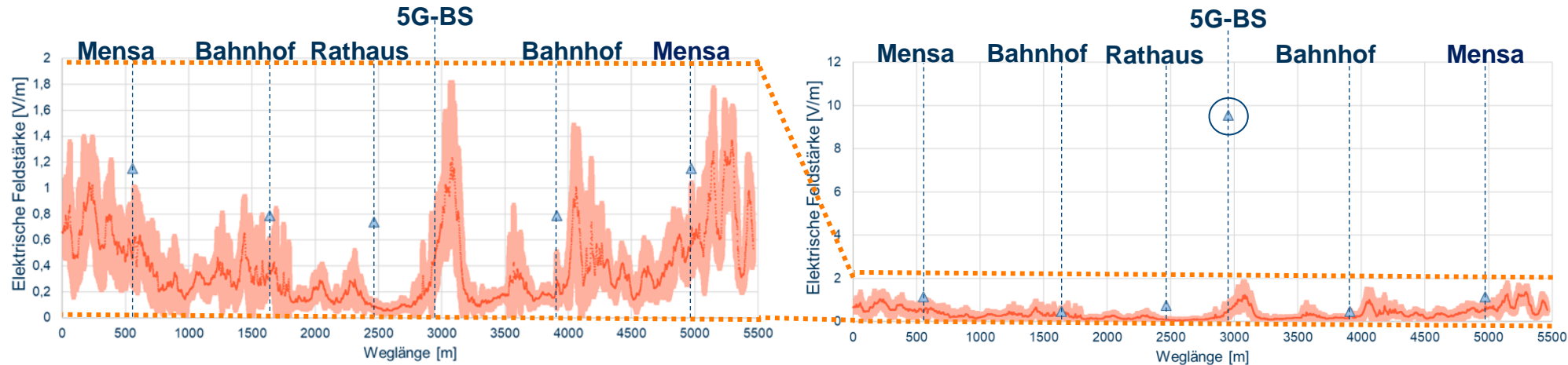
- Messroute zu Fuß
- Messroute Bus
- Messroute CAMIL
- Messroute P:Mover



- Stationäre Immissionsmessungen
- ▲ Maximalimmissionsmessungen
- Basisstation (GSM, LTE, 5G)
- ⋮ Vergleichsbereiche
- ① 5G Massive MIMO Basisstation auf Unterpörlitzer Str.
- ② 5G Massive MIMO Basisstation Am Helmholtzring Inbetriebnahme: 23.05.2024

Bewertung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit

Mobilfunkimmission entlang der Messroute zu Fuß (Campus + Stadtkern)



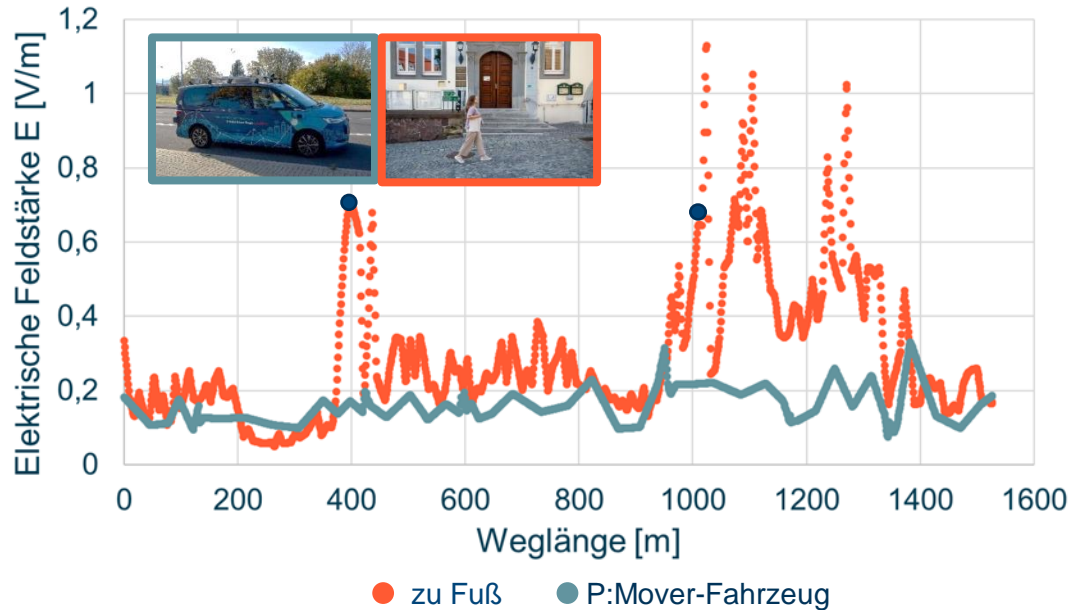
▲ Maximalimmissionsmessungen ● Mittelwert (10 Messungen) ■ Standardabweichung (10 Messungen)

- **Systematische Analyse der Route:**
10 reproduzierbare Messungen während eines Jahres an verschiedenen Tagen und Uhrzeiten
- **Maximale Grenzwertausschöpfung der gemittelten Momentanimmission: 0,7%**
- **Theoretische Maximalimmission an der 5G Basisstation liegt deutlich über der tatsächlichen Momentanimmission (max. Grenzwertausschöpfung: 16,0%)**
→ **Deutlich unterhalb der geltenden Immissionsschutzgrenzwerte (26. BImSchV)**

BImSchV:
Bundesimmissionsschutzverordnung

Bewertung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit

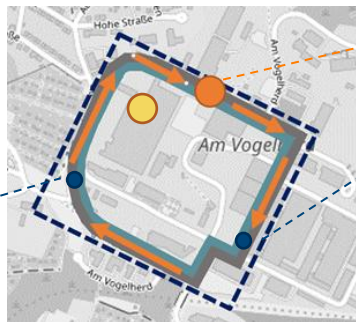
Gesamtmission innerhalb und außerhalb des P:Mover-Fahrzeugs



- Dämpfung der Downlink-Immissionen innerhalb des Fahrzeugs ca. 7 dB (Faktor 5)
- Höhere Uplink- (+11 dB, Faktor 12) und ISM-Immission (+6 dB, Faktor 4) innerhalb des Fahrzeugs im Vergleich zu außen
- Grenzwertausschöpfung der Momentanmission (Mittelwert über Weglänge):
0,3% innerhalb und 0,6% außerhalb des Fahrzeugs

→ Deutlich unterhalb der geltenden Immissionsschutzgrenzwerte (26. BImSchV)

1000 m
(85% der Gesamtmission
Downlink außerhalb des
P:Mover-Fahrzeugs)



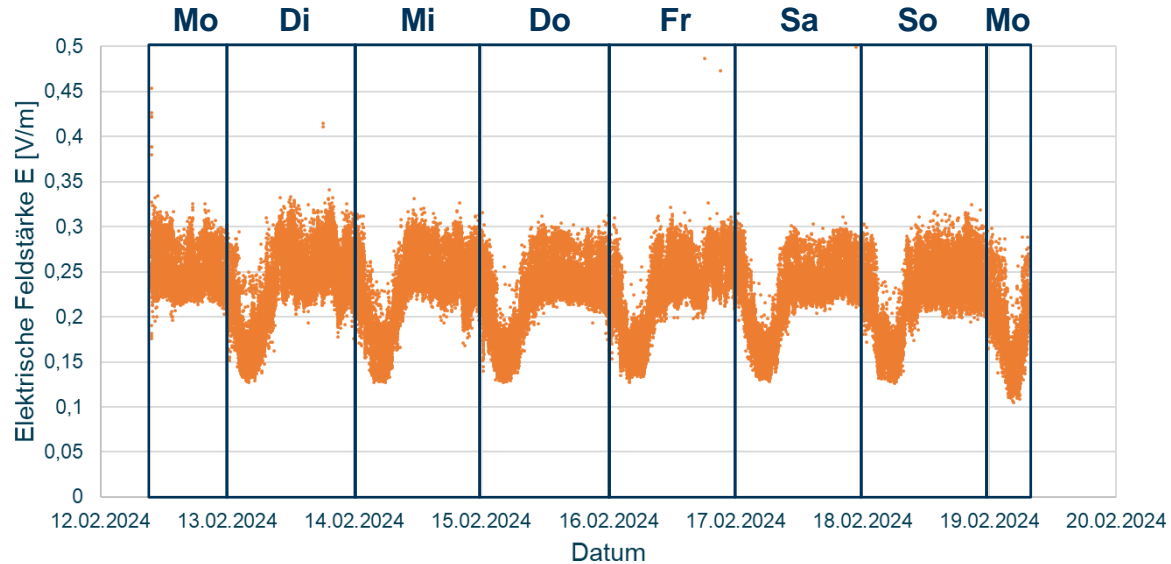
Start: 0 m

400 m
(75% der Gesamtmission:
Downlink außerhalb des
P:Mover-Fahrzeugs)

● Mobilfunk-
Basisstation

Bewertung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit

Langzeitimmissionsmessung auf der Litfaßsäule am Bahnhof



- **Ausgeprägte tageszeitliche Schwankungen der Momentanimmission an allen Tagen der Woche**
 - **Minimum täglich ca. zwischen 1 Uhr und 5 Uhr morgens (kein Zugverkehr zwischen 00:57 Uhr und 04:36 Uhr)**
- **Der größte Anteil der Immission entfällt auf Mobilfunk im Downlink (ca. 60%)**
- **Maximale Grenzwertausschöpfung der gemittelten Momentanimmission: 0,4%**
→ **Deutlich unterhalb der geltenden Immissionsschutzgrenzwerte (26. BImSchV)**

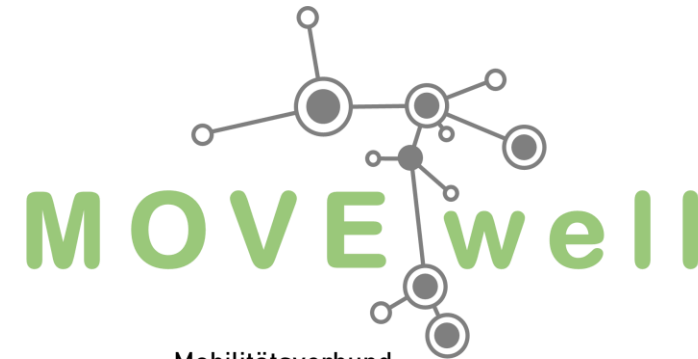
ThIMo – Forschungsoffensive „Digitale Mobilität“

Rahmenkonzept „Mobilität in ländlichen Räumen“

- **Automatisiertes und vernetztes Fahren**
 - Umfelderkennung, Routenplanung und Überwachung automatisierter Fahrfunktionen erfolgt im Fahrzeug
 - Teilweise Auslagerung der Rechentechnik nur durch latenzarme 5G-Versorgung realisierbar

→ Weiterer Ausbau des 5G-Mobilfunks notwendig!
- **Elektromagnetische Umweltverträglichkeit**
 - Immissions-Monitoring begleitend zum weiteren Ausbau des Mobilfunknetzes
 - Bewertung von Strahlenschutz-Aspekten beim zukünftigen 6G-Mobilfunkstandard

→ Neues F&E-Verbundprojekt (BMBF): „MOVEwell“
Interkommunaler Mobilitätsverbund für werthaltige
ländliche Lebensräume in Mittel-/Ostthüringen



Mobilitätsverbund
werthaltige
ländliche
Lebensräume



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektlaufzeit
09/2024 – 08/2029
Fördervolumen 4.6 MEUR

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Ilmenau, 27.11.2024

PROJEKTPARTNER FUNKWERK

Entwicklungsprojekt Projekt P:Mover

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Funkwerk AG | Traditional. Innovative. SOLUTIONS.

Funkwerk Systems GmbH (Betriebsteile Köllda und Karlsfeld)

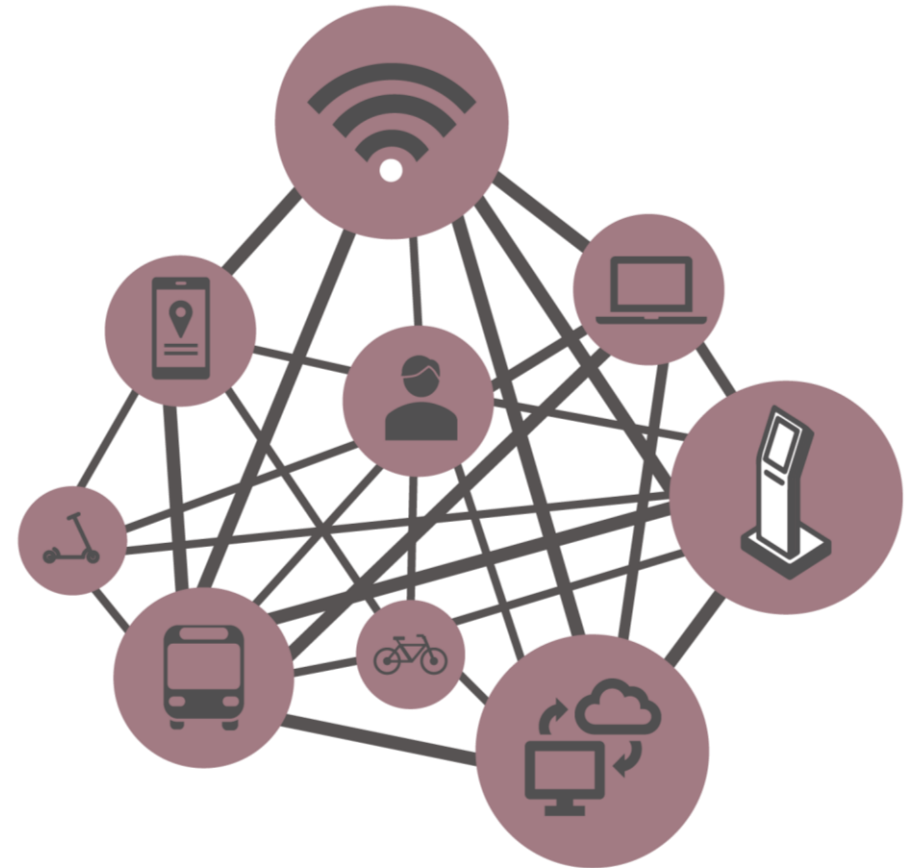


- Tochterunternehmen der Funkwerk AG (größtes operativ tätiges Unternehmen im Funkwerk-Konzern)
- Vier Geschäftsbereiche: Zugfunk, Fahrgastinformationssysteme, Integrierte Sicherheitslösungen, Technische Dienstleistungen
- Ca. 160 Mio. € Umsatz mit rd. 600 Mitarbeitenden (2023)
- Vorstand: Kerstin Schreiber, Dr. Falk Herrmann



Projektteil Funkwerk Karlsfeld: sensorgestützte Fahrgastinformation

- effizientere, intelligentere und flexiblere Mobilität
- 5G-basiertes verteiltes System aus Info-Stelen und Web-Diensten (inkl. Kommunikation mit Fahrzeugen)
- flexible und erweiterbare Plattform
- Informationen zu aktuellen Fahrtmöglichkeiten (ÖPNV/Bahn)
- zuverlässige Verkehrsprognose
- nahtloser Übergang zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln
- intelligente Reiseinformations- und Smart-City-Applikationen
- Möglichkeit der Einbindung von Dritt-Applikationen



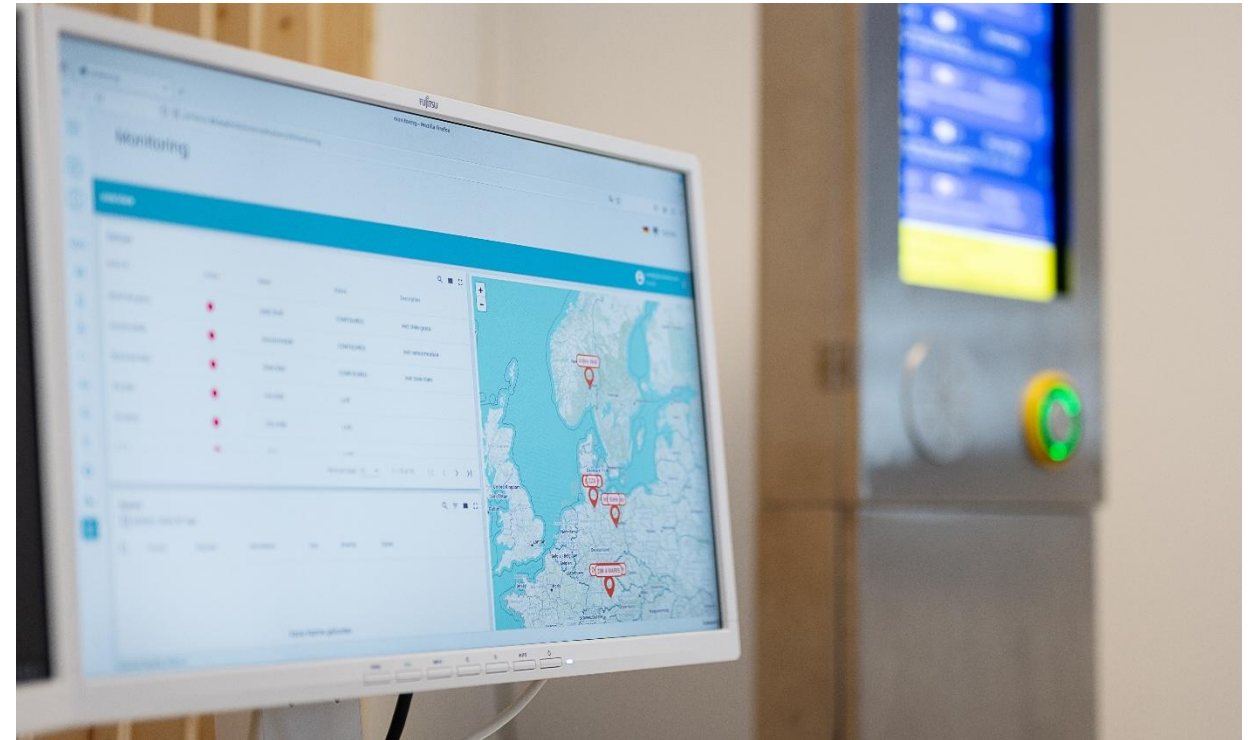
Projektteil Funkwerk Karlsfeld: Hardware

- 2 x 21,5 Zoll TFT Stele ds (2 Standorte: Universität, Busbahnhof)
- 1 x 21,5 Zoll Monitor (im Labor)
- Sockel / Monitor
- Text to Speech
- 4G/5G Modem
- Sensoring zur Überwachung von Temperatur, Feuchtigkeit, Scheibenbruch, Türöffnung, Helligkeit, Fehlerkennung



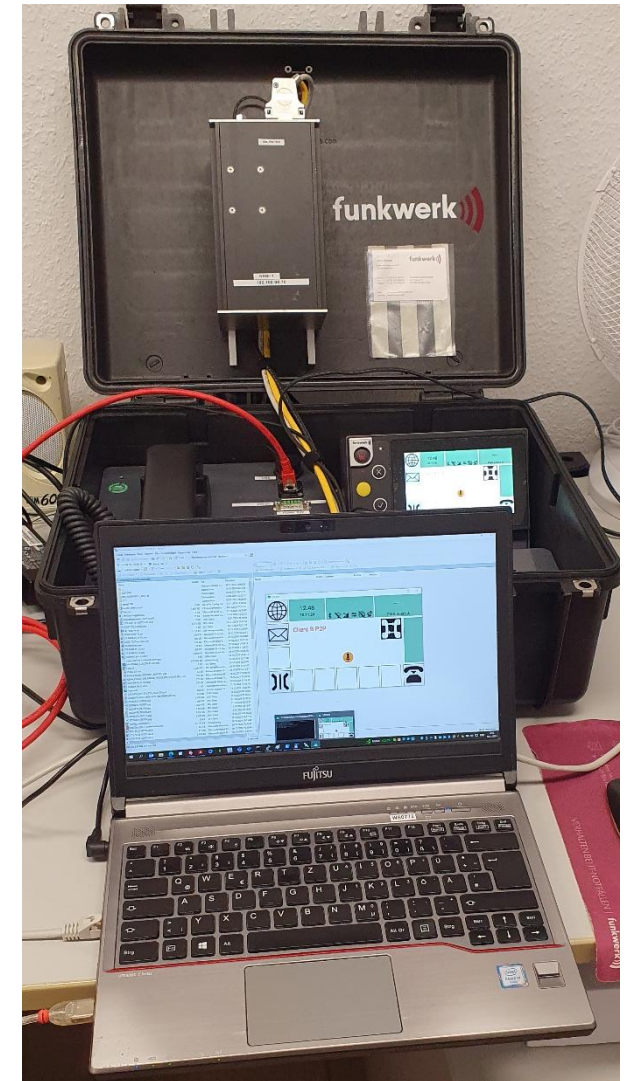
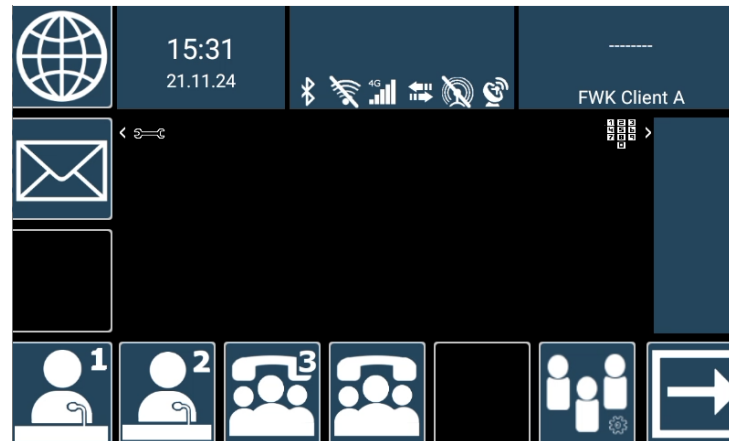
Projektteil Funkwerk Karlsfeld: Smart Mobility Software

- Cloud basierend
- automatische Datenübernahme
- Übernahme Echtzeitdaten
- Integration zus. Schnittstellen
- Fahrplanübernahme
- Layoutmanager (zusätzliche Dateien)
- Notice Modul (Sonderinformationen)
- skalierbar
- Benutzerverwaltung, Geräteverwaltung, Inhaltsverwaltung, Datenintegration, Geräteüberwachung

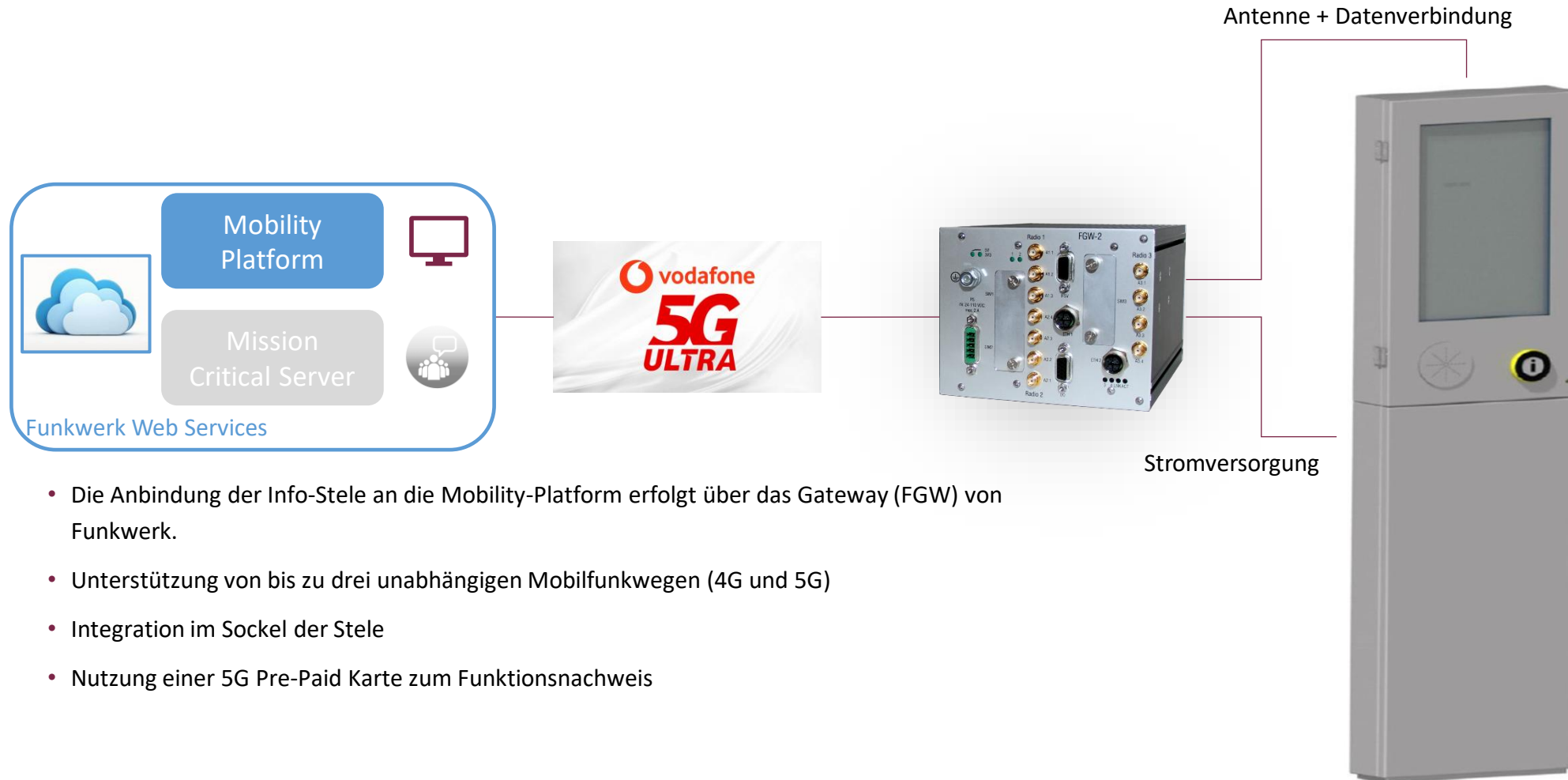


Projektteil Funkwerk Kölleda: Projektziele

- Tests und Praxiserprobung eines in der Info-Steile fest verbauten Prototyps eines Funkmoduls bzgl. Multipath-Routing
- Tests und Praxiserprobung von bereits entwickelten 5G-fähigen Funkmodulen in Labor- und Netzinfrastrukturen sowie auf Fahrzeugen bzgl. MCX Communication:
 - Mission Critical Funktionalität (Voice)



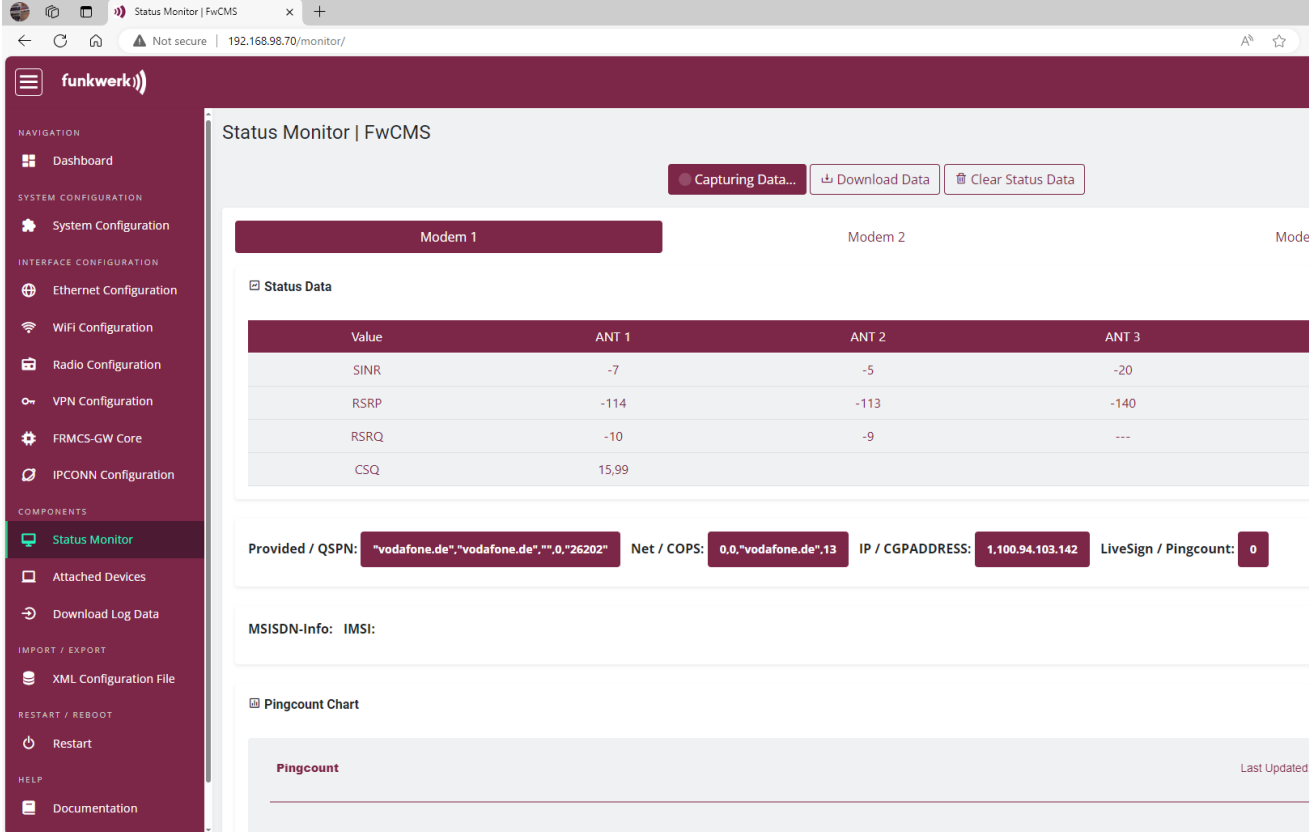
Projektteil Funkwerk Kölleda: Anbindung der P:MOVER Stele via 5G (TEIL 1/2)



- Die Anbindung der Info-Steile an die Mobility-Plattform erfolgt über das Gateway (FGW) von Funkwerk.
- Unterstützung von bis zu drei unabhängigen Mobilfunkwegen (4G und 5G)
- Integration im Sockel der Steile
- Nutzung einer 5G Pre-Paid Karte zum Funktionsnachweis

Projektteil Funkwerk Kölleda: Anbindung der P:MOVER Stele via 5G (TEIL 2/2)

- Einbau des Gateways in den Sockel der Stele
- Stromversorgung über das eingebaute Netzteil
- Web-Konfiguration
- Status-Monitor für Verbindungsdaten
- Integrierte Firewall
- Entwickelt nach EN 50155
- 2x 1Gbit/s Ethernet
- Audio Interface, RS422 Support und GNSS Unterstützung



The screenshot shows the 'Status Monitor | FwCMS' web interface. The main content area displays 'Status Data' for three antennas (ANT 1, ANT 2, ANT 3) across various metrics. Below this, it shows network information for 'vodafone.de' and a ping count of 0.

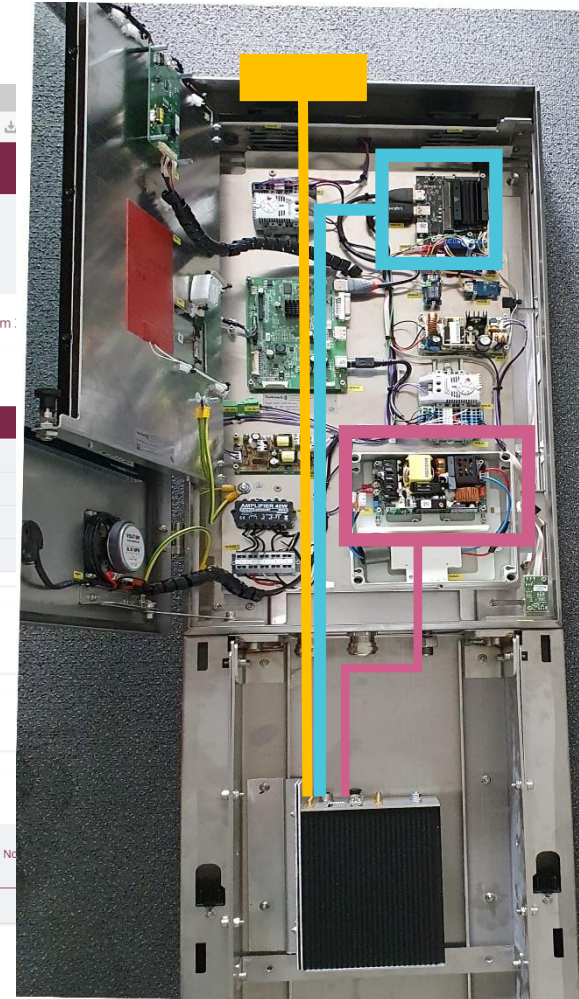
Value	ANT 1	ANT 2	ANT 3
SINR	-7	-5	-20
RSRP	-114	-113	-140
RSRQ	-10	-9	---
CSQ	15,99		

Provided / QSPN: "vodafone.de", "vodafone.de", "0,0,26202" Net / COPS: 0,0,"vodafone.de",13 IP / CGPADDRESS: 1.100.94.103.142 LiveSign / Pingcount: 0

MSISDN-Info: IMSI:

Pingcount Chart

Pingcount



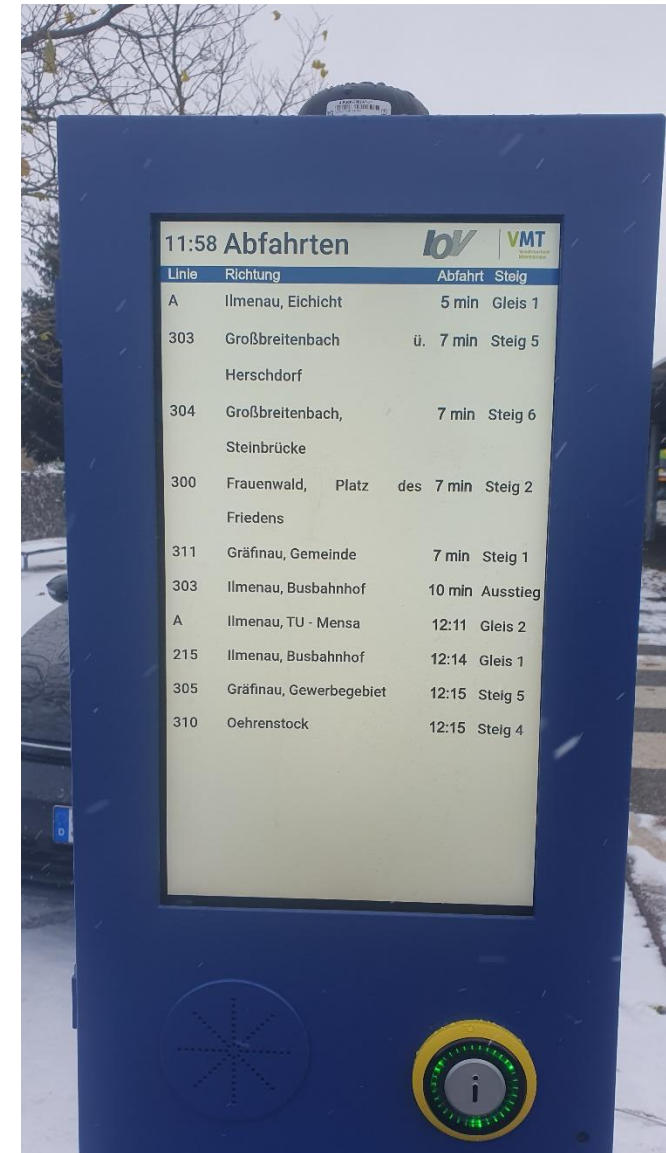
Projektteil Funkwerk Kölleda: Field Tests der Displays

Field Tests

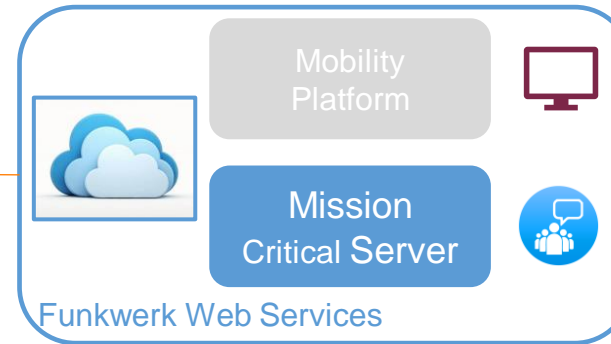
- Errichtung der Anzeiger an den festgelegten Positionen
- Inbetriebnahme über die 5G Funkverbindung mittels Pre-Paid SIM Karte
- Verbindung zur Projektdatenbank
- Überprüfung der Feldstärke zur Funkversorgung

SIM card		Connection		Data transmission		Cell info	
SIM card slot in use	SIM 1	Operator	vodafone.de	Carrier aggregation	Active	Cell ID	7715603
SIM card state	Inserted	Operator state	Registered, home	Bandwidth	20 MHz / 10 MHz	TAC	43602
Provider	vodafone.de	Data connection state	Connected	Connected band	LTE B1 / LTE B20	Physical cell ID	273 / 244
IMSI	262022613794530	Connection stage	Setup complete	RSSI (dBm)	-59 Excellent	EARFCN	100 / 6300
ICCID	89492026246003461474	Network type	5G (NSA): VoLTE	Data received	85.2 KB	Mobile country code	262
				Data sent	59.08 KB	Mobile network code	02

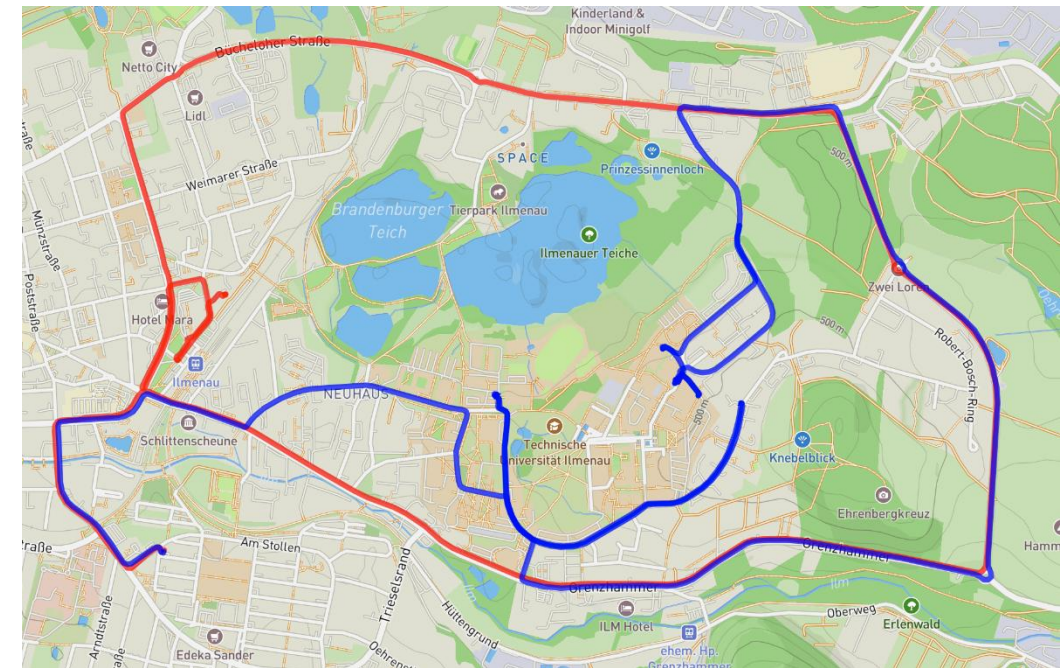
^ Bands						
Name	EARFCN	Bandwidth	Physical cell ID	RSRP	RSRQ	SINR
LTE B1	100	20 MHz	273	-87 Good	-8 Excellent	12 Fair to poor
LTE B20	6300	10 MHz	244	-79 Excellent	-12 Good	10 Fair to poor



Projektteil Funkwerk Kötleda: Drive Test für die Sprachanwendung



- Verbindung zum Funkwerk Cloud Server
- Ein Sprechfunkgerät statisch im Funkwerk Büro Ilmenau
- Sprachverbindung zwischen zwei Geräten – Stabilität und Sprachqualität
- Zweites Sprechfunkgerät im Fahrzeug
- Funkwerk verwendete eigenes Fahrzeug, da das P:Mover Projektfahrzeug nicht zur Verfügung stand
- Test der Abdeckung in Ilmenau und auf dem Campus
- Keine Sprachunterbrechungen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Thomas Rohn
Leiter Vertrieb und Projektmanagement

- +49 8131 9075-462
- thomas.rohn@funkwerk.com
- funkwerk.com

Funkwerk Systems GmbH
Im Funkwerk 5 | 99625 Kölleda



HERZLICHEN DANK

Wir freuen uns auf Ihre Fragen

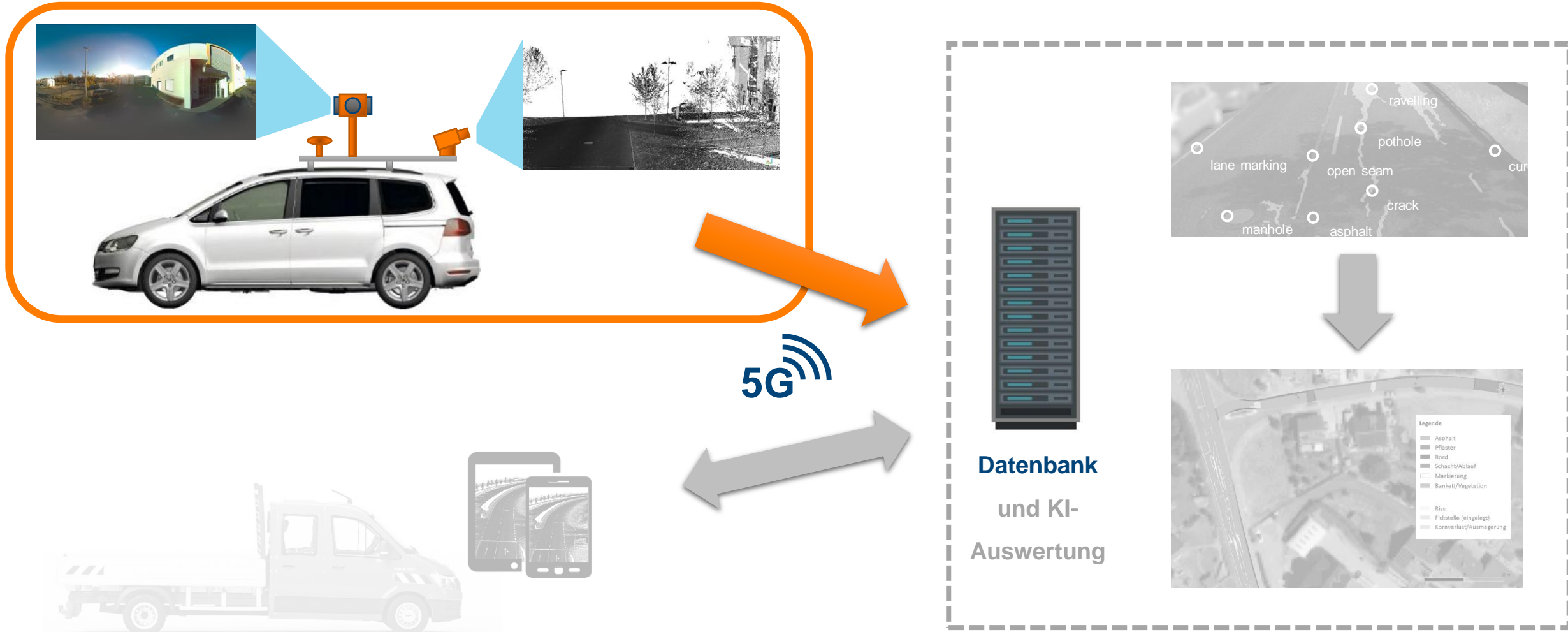
Mobile Straßenbegutachtung

Überblick



Mobile Straßenbegutachtung

Überblick



Mobile Straßenbegutachtung

Mobiles Erfassungssystem

- 3D Straßen- und Straßenraumerfassung
- 3D Oberflächenscan und Automotive Test Tracks
- Kamera- und scannerbasierte Zustands- und Bestandsdatenerfassung in Kommunen



Ausrüstung

- **Lokalisation:** Applanix POS LV
- **3D Erfassung:** Laserscanner ZF 9020
- **Bilderfassung:** Panoramakamera SmartDelta PentaPano
- **Datenübertragung:** 5G Technologie

Mobile Straßenbegutachtung

Mobiles Erfassungssystem



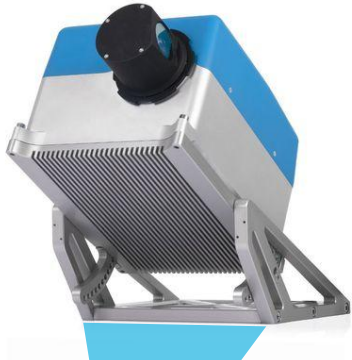
Modifizierte SmartDelta PentaPano

- 2 integrierte Rechner
- Kameramodule von Teledyne (Sony Sensoren)
- Objektive mit weiterem Öffnungswinkel (48° unter dem Horizont)



Mobile Straßenbegutachtung

Mobiles Erfassungssystem



Laserscanner Z+F PROFILER 9020

- 267 Profile / Sek
- 1 Mio. (2 Mio) Punkte / Sek
- 0.2 mm Genauigkeit (0.7 mm (1 Sigma) auf Referenzbalken)
- Reichweite 182 m (55m auf ebener Oberfläche und flachem Winkel)



Mobile Straßenbegutachtung

Mobiles Erfassungssystem

Laserscanner

- 1 Mio Punkte/s
- Ca. 9 MB/s



Panoramakamera

- 141 MPix Bilder (komprimiert gespeichert)
- Auslösung alle 5 Meter
 - 30 km/h ~ 66 MB/s
 - 50 km/h ~ 110 MB/s



+ Lokalisation und Steuerdaten (ca. 500 MB / h)

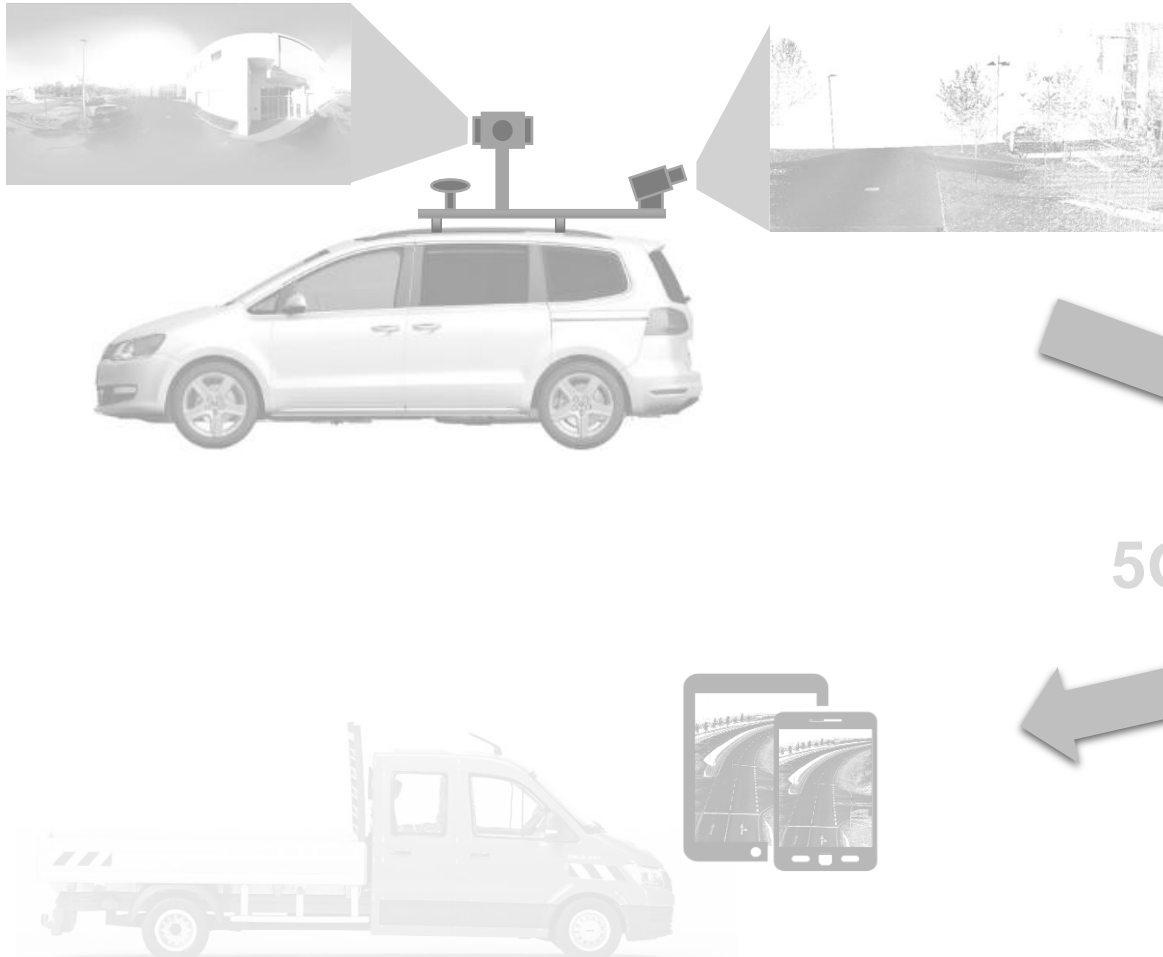


Nutzung von Standzeiten und Überführungsfahrten



Mobile Straßenbegutachtung

Überblick



Mobile Straßenbegutachtung

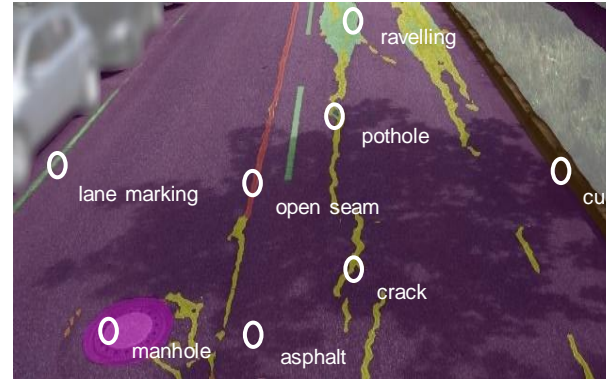
Automatisierte Datenauswertung

- Einsatz KI für die Verarbeitung der erfassten Bild- und Punktwolkendaten
- KI Methoden bei L+P bereits im Einsatz
- Fokus im Projekt auf Auswertung der Frontkamerabilder und der 3D-Daten des Z+F Scanners

KI-Auswertung



Anonymisierung



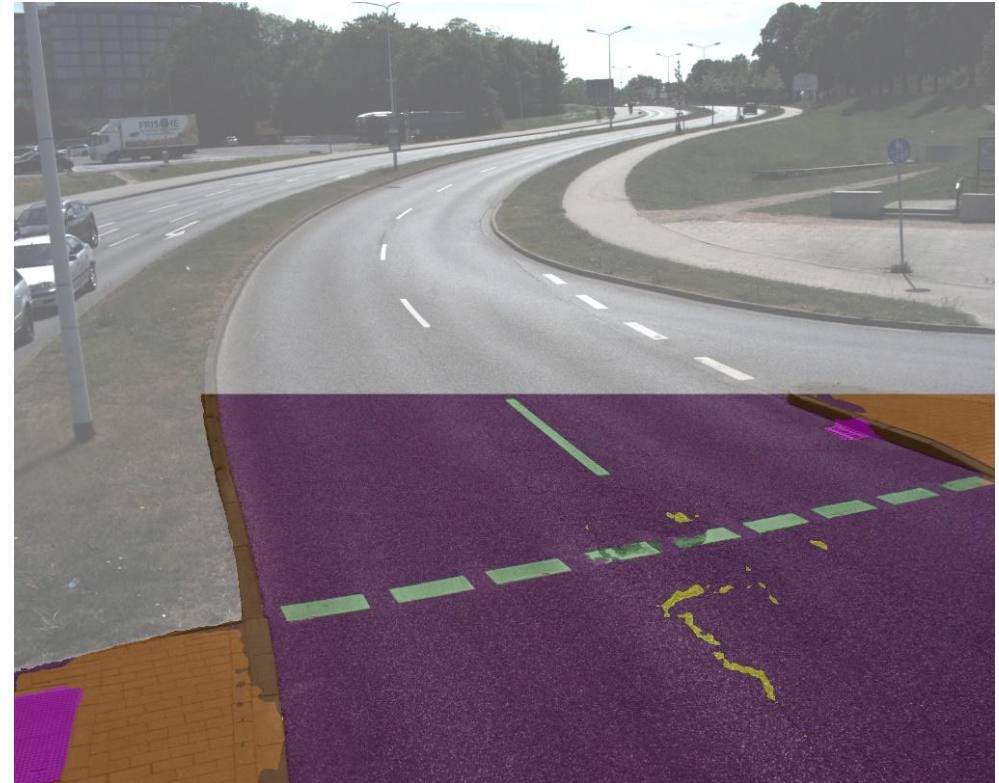
Panoramakamerabilder



Z+F Laserscannerdaten

Mobile Straßenbegutachtung

Auswertung von Bilddaten - Einzelbildbasis



Mobile Straßenbegutachtung

Auswertung von Bilddaten - Einzelbildbasis



Mobile Straßenbegutachtung

Auswertung von Bilddaten - Messfahrtebene

Detektion aus Bilddaten



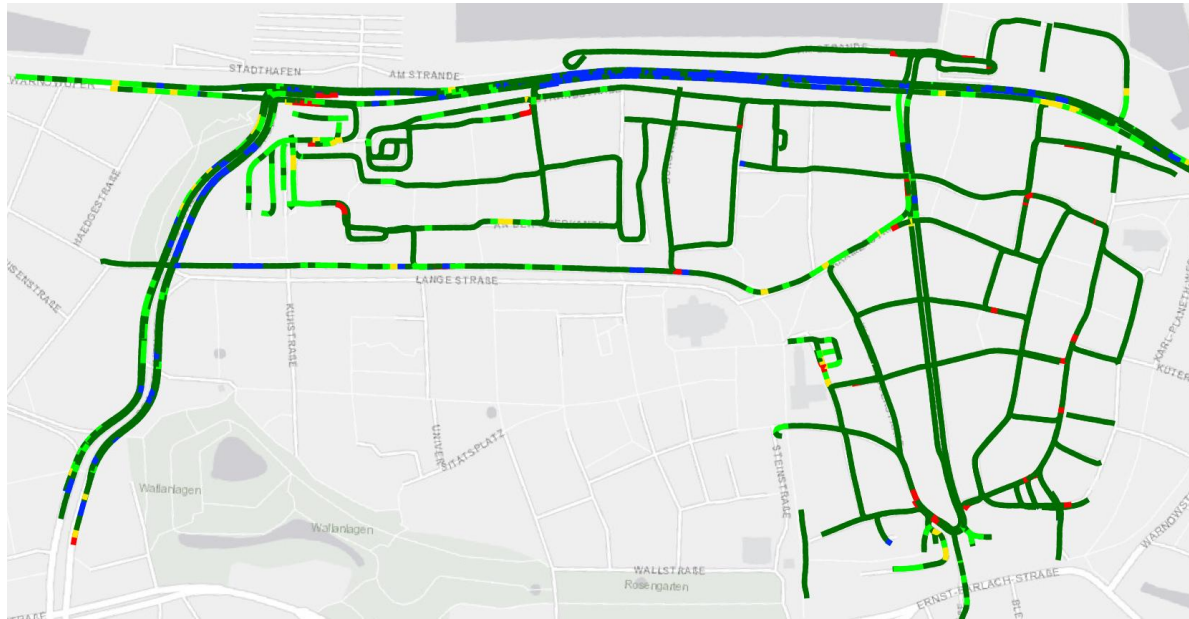
Detektion aus Laserscannerdaten



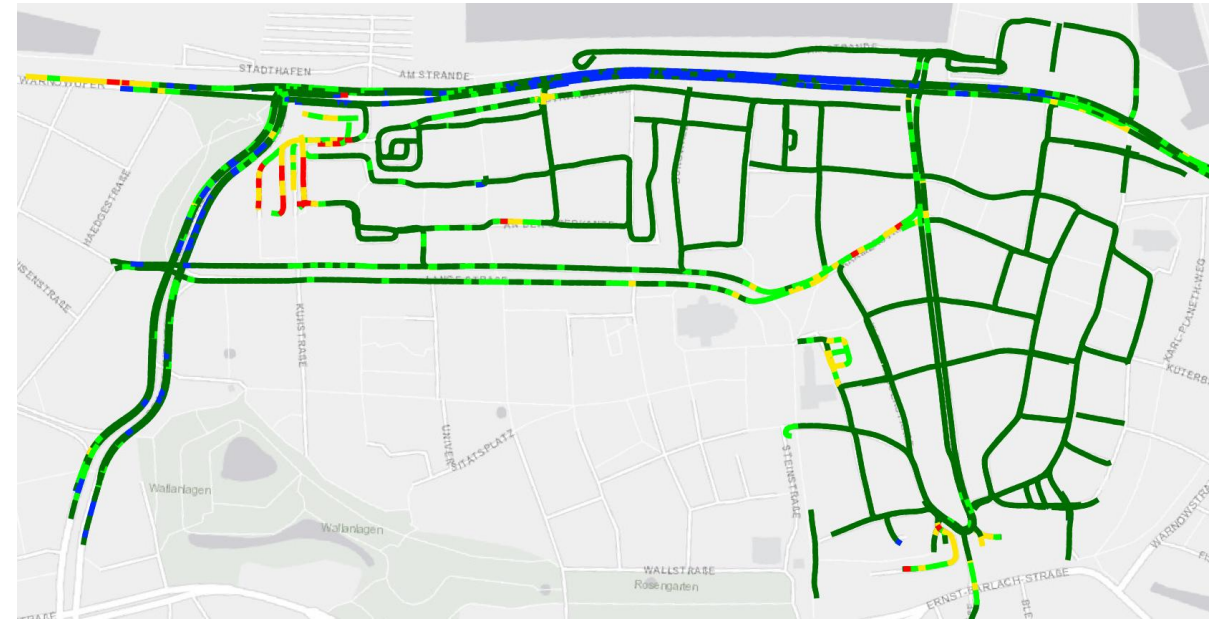
Mobile Straßenbegutachtung

Auswertung von Bilddaten - Messfahrtebene

Detektion aus Bilddaten



Detektion aus Laserscannerdaten



Mobile Straßenbegutachtung

Auswertung von Bilddaten

- Nicht alle Schäden aus Umgebungsbildern allein erkennbar



Frontbild



Scanner-Daten



KI Detektion
(Scanner)

Mobile Straßenbegutachtung

Auswertung von Laserscannerdaten

Höhenbild (relativ)



Intensitätsbild



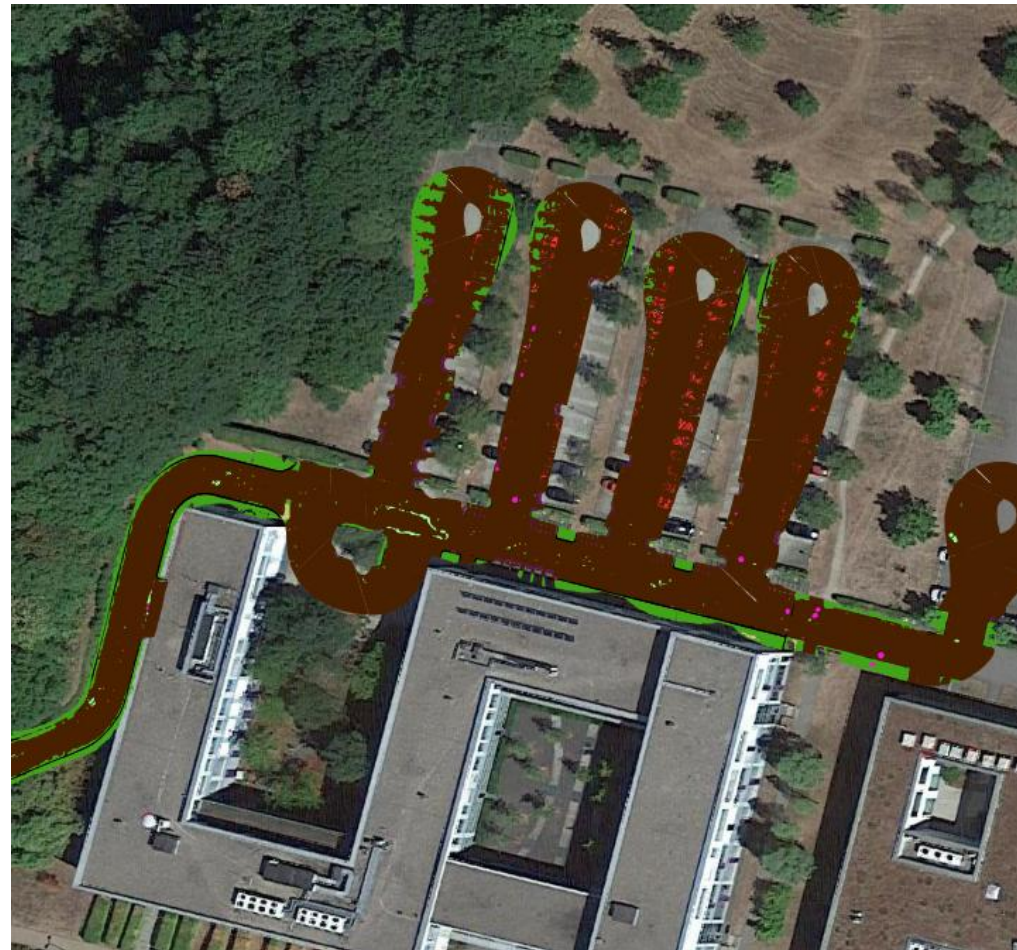
- Bei Fahrgeschwindigkeiten < 30 km/h ermöglichen erfassten 3D-Daten sogar automatisierte Schadstellendetektion analog Fraunhofer PPS-Scanner



KI-Detektion
(Risse – gelb, Kornausruch – dunkelgrün)

Mobile Straßenbegutachtung

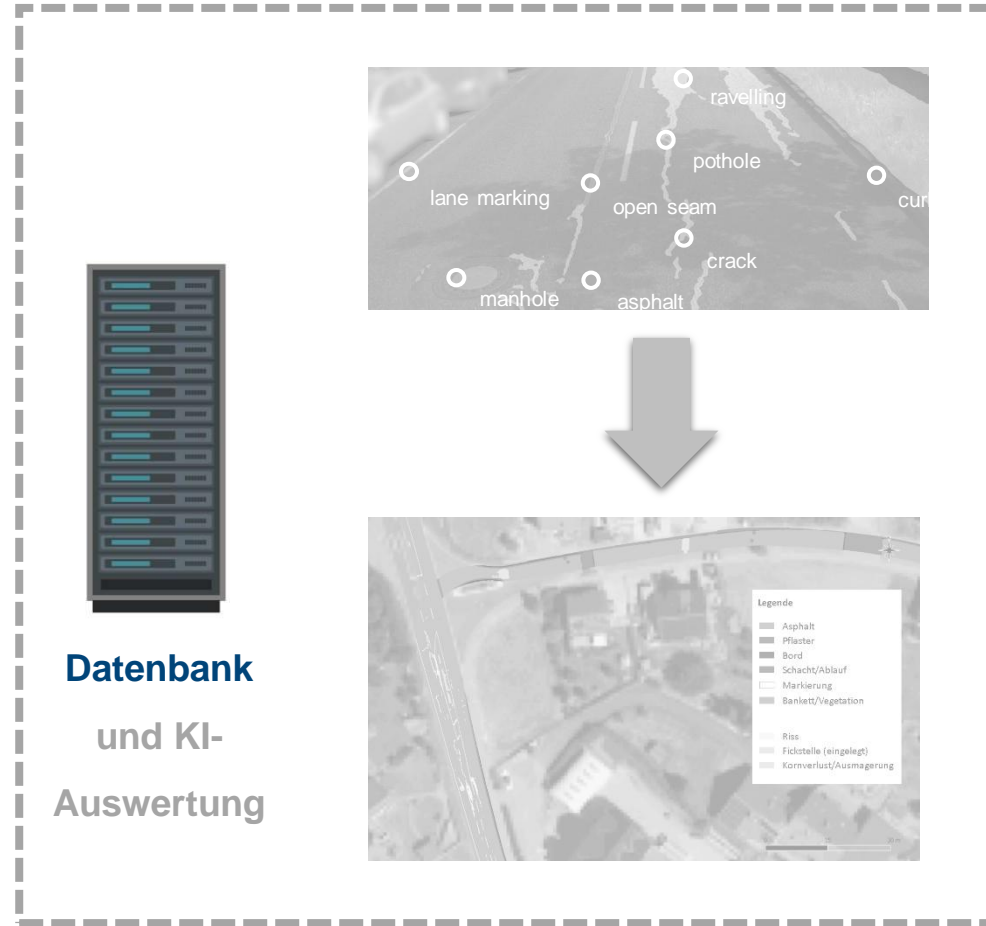
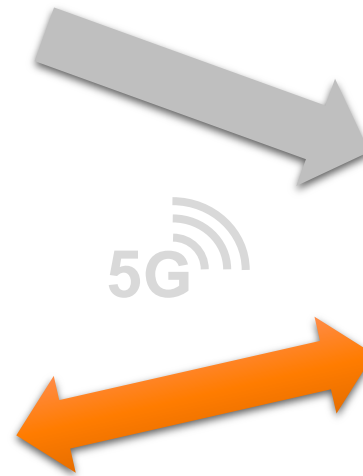
Auswertung von Laserscannerdaten



- Asphalt
- Beton
- Pflaster
- Schotter/Kies/Sand
- Vegetation
- Bordstein
- Fahrbahnmarkierung
- stationäres Objekt (Inventar)
- sonstiges Objekt
- Baunaht (intakt)
- offener RISS (Asphalt)
- versiegelter RISS (Asphalt)
- aufgelegte Flickstelle (Asphalt)
- eingelegte Flickstelle (Asphalt)
- Bindemittelanreicherung (Asphalt)
- Ausmagerung/Kornverlust (Asphalt)
- Ausbruch (Asphalt)
- offene Naht (Asphalt)
- schadhafter Stein (Pflaster)
- fehlender Stein (Pflaster)
- Lagerungsschaden (Pflaster)
- offene Pflasterfuge (Pflaster)
- Flickstelle (Pflaster)
- Gefügauflösung (Pflaster)
- offener RISS (Beton)
- versiegelter RISS (Beton)
- aufgelegte Flickstelle (Beton)
- eingelegte Flickstelle (Beton)
- Ausmagerung/Kornverlust (Beton)
- Ausbruch (Beton)

Mobile Straßenbegutachtung

Überblick

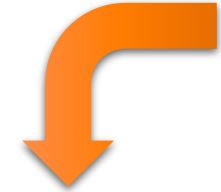


Mobile Straßenbegutachtung

Datendarstellung auf mobilem Endgerät

- Daten über Schäden und Straßenzustand sind in **Postgres Datenbank** erfasst
- Zugriff auf Datenbank mit mobilem Endgerät
- Nutzung des Google **ARCore** Frameworks
 - Bewegungserkennung, Tracking von Merkmalen im Bild
 - Erkennung von Ebenen
 - Lokalisation über Merkmalspunkte in der Welt
- **Qualität** sehr stark **abhängig von Lokalisation**
 - Nutzung von Google Visual Positioning Service (VPS)
 - Nutzung von externem RTK-GPS Empfänger

5G



Datenbank

