

Machbarkeitsstudie zu alternativen Antrieben im ÖPNV im Landkreis Prignitz

Projektdokumentation (WBS DEE00150295.1.1)
Landkreis Prignitz
28. Mai 2026

Diese Studie ist gefördert
durch das BMDV aus dem
Sondervermögen „Klima-
und Transformationsfonds“



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



LANDKREIS
PRIGNITZ



Inhaltsverzeichnis

1

AP1 – Neuplanung des ÖPNV-Netzes

2

AP2 – Fuhrpark-, Flotten- und Betriebshofanalysen

3

AP3 – Infrastrukturanforderungen und -bedarfe

4

AP4 – Analysen zur Energiebereitstellung und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung des Gesamtsystems oder zur Einbindung lokaler Erzeugungskapazitäten

5

AP5 – Wirtschaftlichkeitsanalyse und Finanzierungsplanung unter Berücksichtigung möglicher Förderungen

6

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen



Auftrag und Auftragsdurchführung

Mit Schreiben vom 11. Dezember 2024 hat uns der

Landkreis Prignitz

(im Folgenden kurz der „Landkreis“ genannt)

beauftragt, die Einführung von emissionsfreien Antrieben für den ÖPNV im Landkreis im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu untersuchen.

Die Auftragsbearbeitung erfolgte in den Monaten Dezember 2024 bis März 2026 auf Grundlage der uns vom Landkreis zur Verfügung gestellten Daten.

Düsseldorf, den 28. Mai 2026

PricewaterhouseCoopers GmbH
Wirtschaftsprüfungsgesellschaft

Maximilian Rohs
Director | Public Transport Leader

ppa. Felix Krewerth

Auftrag und Auftragsdurchführung

Ausgangslage (1/5)

Der Landkreis Prignitz („LK Prignitz“) ist ein Flächenlandkreis im Nordwesten des Landes Brandenburg und umfasst 26 kreisangehörige Kommunen auf einer Gesamtfläche von rund 2.139 km². Das Kreisgebiet ist überwiegend ländlich geprägt und wird verkehrlich durch ein Netz aus Bundesautobahnen und Bundesstraßen erschlossen. Eine zentrale Verkehrsachse bildet die Bundesautobahn A 24, die den Landkreis von Kremmen über Pritzwalk und Putlitz bis nach Hamburg durchquert. Ergänzend besteht ein Eisenbahnnetz, das den Landkreis durchzieht.

Der Landkreis Prignitz ist der zuständige ÖPNV-Aufgabenträger in seinem Kreisgebiet. Die Ausgestaltung des öffentlichen Personennahverkehrs erfolgt auf Grundlage des Nahverkehrsplans 2024 (NVP), der am 30. Mai 2024 durch den Kreistag beschlossen wurde. Bis zum 31. Juli 2026 ist das private Unternehmen ARGE prignitzbus mit der Erbringung der Busverkehrsleistungen im Landkreis beauftragt. Parallel zur Fortschreibung des Nahverkehrsplans hat der Kreistag Prignitz die Rekommunalisierung der Verkehrsleistungen beschlossen.

Auftrag und Auftragsdurchführung

Ausgangslage (2/5)

Zur Einordnung von Umfang und Struktur des Untersuchungsraums dienen die Kenngrößen des Nahverkehrsplans 2024. Das Leistungsnetz umfasst rund 600.000 Fahrplankilometer, während das Schulverkehrsnetz etwa 2.200.000 Fahrplankilometer beinhaltet. Die Nachfrage im ÖPNV ist stark Schulverkehrsgeprägt und konzentriert sich überwiegend auf die Hauptverkehrszeiten.

Fahrgastzählungen aus den Jahren 2019/2020 zeigen insgesamt eine geringe Auslastung des Busverkehrs: Rund ein Drittel der Busfahrten fand ohne Fahrgäste statt, während ein Großteil der übrigen Fahrten nur sehr schwach ausgelastet war. Die Fahrgastzahlen gingen im Jahr 2020 infolge der COVID-19-Pandemie gegenüber 2019 deutlich zurück (um rund 25 bis 36 %).

Der Landkreis verfügt derzeit über 584 Bushaltestellen mit insgesamt 1.055 Haltestellenmasten. Vor diesem Hintergrund verfolgt der Landkreis Prignitz im NVP 2024 das Ziel, den ÖPNV künftig effizienter, flexibler und bedarfsgerechter auszugestalten, unter anderem durch die stärkere Integration von On-Demand-Verkehren.

Auftrag und Auftragsdurchführung

Ausgangslage (3/5)

Die zeitliche Umsetzung der CVD bzw. des SaubFahrzeugBeschG gliedert sich in zwei Referenzperioden. Referenzperiode 1 bezieht sich auf Vergabeverfahren, deren Beendigung („Zuschlag“) bis zum 31. Dezember 2025 erfolgt, während Vergabeverfahren mit einer Beendigung zwischen dem 1. Januar 2026 und dem 31. Dezember 2030 in die Referenzperiode 2 fallen. Für die beiden Referenzperioden wurden unterschiedliche Beschaffungsquoten hinsichtlich des Anteils von sauberen und emissionsfreien Fahrzeugen an der Gesamtbeschaffung definiert, wie die folgende Abbildung zeigt.

Für Deutschland gilt, dass in der ersten Periode bis Ende 2025 mindestens 45 % der neu zu beschaffenden Fahrzeuge „sauber“ und davon mindestens die Hälfte (22,5 %) „emissionsfrei“ sein müssen. In der zweiten Periode bis Ende 2030 verschärfen sich die Anforderungen auf 65 % bzw. 32,5 %. Während Fahrzeuge bereits als „sauber“ gelten, wenn sie teilweise mit alternativen Kraftstoffen betrieben werden (z. B. auch dieselbetriebene Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge), müssen „emissionsfreie“ Fahrzeuge weniger als 1g CO₂/kWh oder weniger als 1g CO₂/km ausstoßen. Das Kriterium „emissionsfrei“ erfüllen nach aktuellem Stand in der Praxis nur Elektrobusse (mit einer Batterie, Brennstoffzelle, Oberleitung etc.).

Auftrag und Auftragsdurchführung

Ausgangslage (4/5)

Zur Einhaltung der CVD bzw. des SaubFahrzeugBeschG sind die öffentlichen Auftraggeber (Gemeinde, Kreis, Zweckverband, AöR) – auch im Kontext der Vergabe öffentlicher Dienstleistungsaufträge („öDA“) - sowie die Sektorenauftraggeber (konzessionierte Verkehrsunternehmen – eigenwirtschaftlich und gemeinwirtschaftlich) verpflichtet. Subunternehmer sind mittelbar über den jeweiligen Verkehrsvertrag/öDA verpflichtet. Das SaubFahrzeugBeschG sieht vor, dass die Einhaltung der Quote auf Ebene der einzelnen Bundesländer sicherzustellen ist. Zudem können sich mehrere Bundesländer hinsichtlich der Einhaltung der Quoten zusammenschließen. Die Länder haben in § 5 des Gesetzes die Möglichkeit erhalten, Branchenvereinbarungen abzuschließen mit dem Ziel, die Einhaltung der gesetzlichen Mindestziele auf der Ebene des jeweiligen Landes insgesamt sicherzustellen und gemeinsame Mindestziele zwischen den Ländern zu bilden. Für die erste Referenzperiode bis Ende des Jahres 2025 wurde im November 2023 eine entsprechende Branchenvereinbarung getroffen. 14 Bundesländer und zahlreiche Spitzen- und Verkehrsverbände beteiligen sich an dieser Branchenvereinbarung zur Umsetzung des SaubFahrzeugBeschG (Ausnahme Berlin und Baden-Württemberg), die die Zielsetzung der Zusammenarbeit und gemeinsamen Erfüllung der erforderlichen Mindestbeschaffungsquoten verfolgt.

Der Landkreis Prignitz ist als Aufgabenträger bei der Vergabe von Verkehrsleistungen – auch im Rahmen öffentlicher Dienstleistungsaufträge – verpflichtet, die gesetzlichen Vorgaben des SaubFahrzeugBeschG einzuhalten.

Auftrag und Auftragsdurchführung

Ausgangslage (5/5)

Die Umstellung der ÖPNV-Busflotten auf emissionsfreie, umweltfreundliche Antriebe ist mittlerweile in vollem Gange. Der E-Bus-Bestand in Deutschland ist in den letzten Jahren deutlich gewachsen, wie ein Blick ins PwC-E-Bus-Radar zeigt. Mit Stand vom 31. Dezember 2025 gab es bereits über 4.700 E-Busse im deutschen ÖPNV.

Die aktuell dominierende Antriebsart ist dabei der Batteriebus. Doch auch Brennstoffzellenbusse nehmen in ihrer Bedeutung zu und immer mehr Städte und Kommunen planen den Einsatz von diesen Fahrzeugen. Aufgrund der aktuellen dynamischen Diskussion im Bereich der Brennstoffzellenantriebe, die insbesondere auch durch die Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung und die damit zusammenhängenden Fördermöglichkeiten erzeugt wird, ergeben sich neben batteriebetriebenen Bussen weitere Lösungsansätze, die es zu betrachten und abzuwägen gilt.

Die Umstellung der ÖPNV-Busflotten auf emissionsfreie Antriebe ist vor dem Hintergrund der regulatorischen Anforderungen sowie der klimapolitischen Zielsetzungen des Landkreises Prignitz ein zentraler Handlungsbaustein. Im NVP 2024 ist das Ziel verankert, den kommunalen ÖPNV bis zum Jahr 2030 CO₂-neutral auszugestalten.

Vor diesem Hintergrund wurde die Machbarkeitsstudie zu Einsatzmöglichkeiten von Bussen mit emissionsfreien Antrieben im Landkreis Prignitz beauftragt. Ziel der Studie ist es, eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die künftige Ausgestaltung der Verkehrsleistungen, der Fahrzeugflotte sowie der erforderlichen Lade- und Betankungsinfrastruktur zu schaffen. Die Studie betrachtet technologieoffen batterie- und brennstoffzellenelektrische Antriebskonzepte und berücksichtigt dabei betriebliche, technische, wirtschaftliche und energetische Rahmenbedingungen sowie die spezifischen Gegebenheiten des Landkreises Prignitz.



AP1 – Neuplanung des ÖPNV- Netzes



AP1 – Neuplanung des ÖPNV-Netzes

Ausgangslage

Der Landkreis Prignitz verfügt aktuell über ein hierarchisch aufgebautes Busliniennetz, das aus folgenden Teilnetzen besteht:

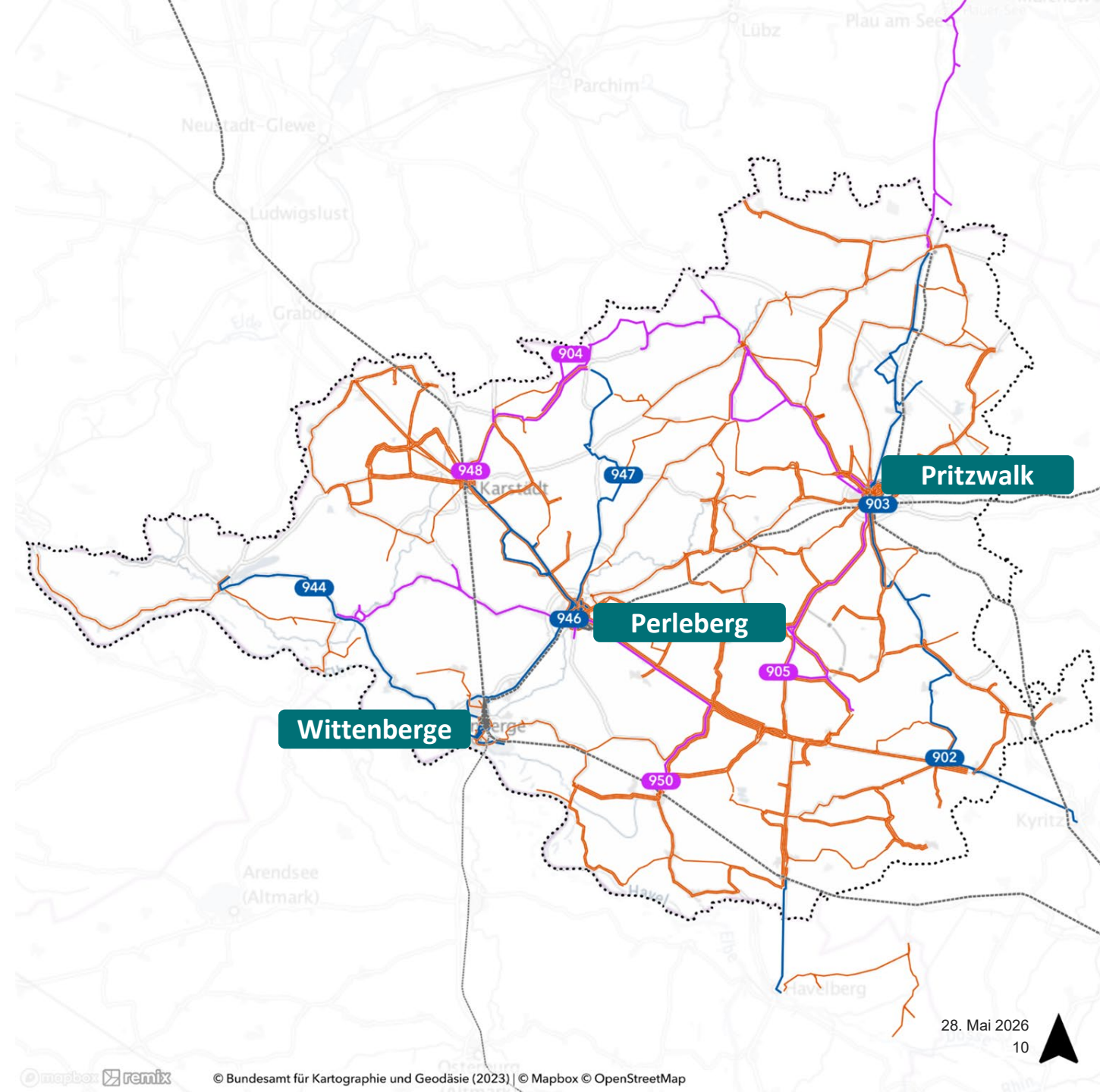
Grundnetz: Regionale Verbindungen im Stundentakt

Regionalnetz, Ergänzende regionale Verbindungen

Schulnetz/Ergänzungsnetz, flächige Erschließung

Zusätzlich gibt es in den Städten Wittenberge, Perleberg und Pritzwalk jeweils eine **Stadtbuslinie**, die den innerstädtischen Verkehr abdeckt.

Das Liniennetz ist angebotsseitig optimiert, erzielt jedoch kein ausreichendes Fahrgastaufkommen

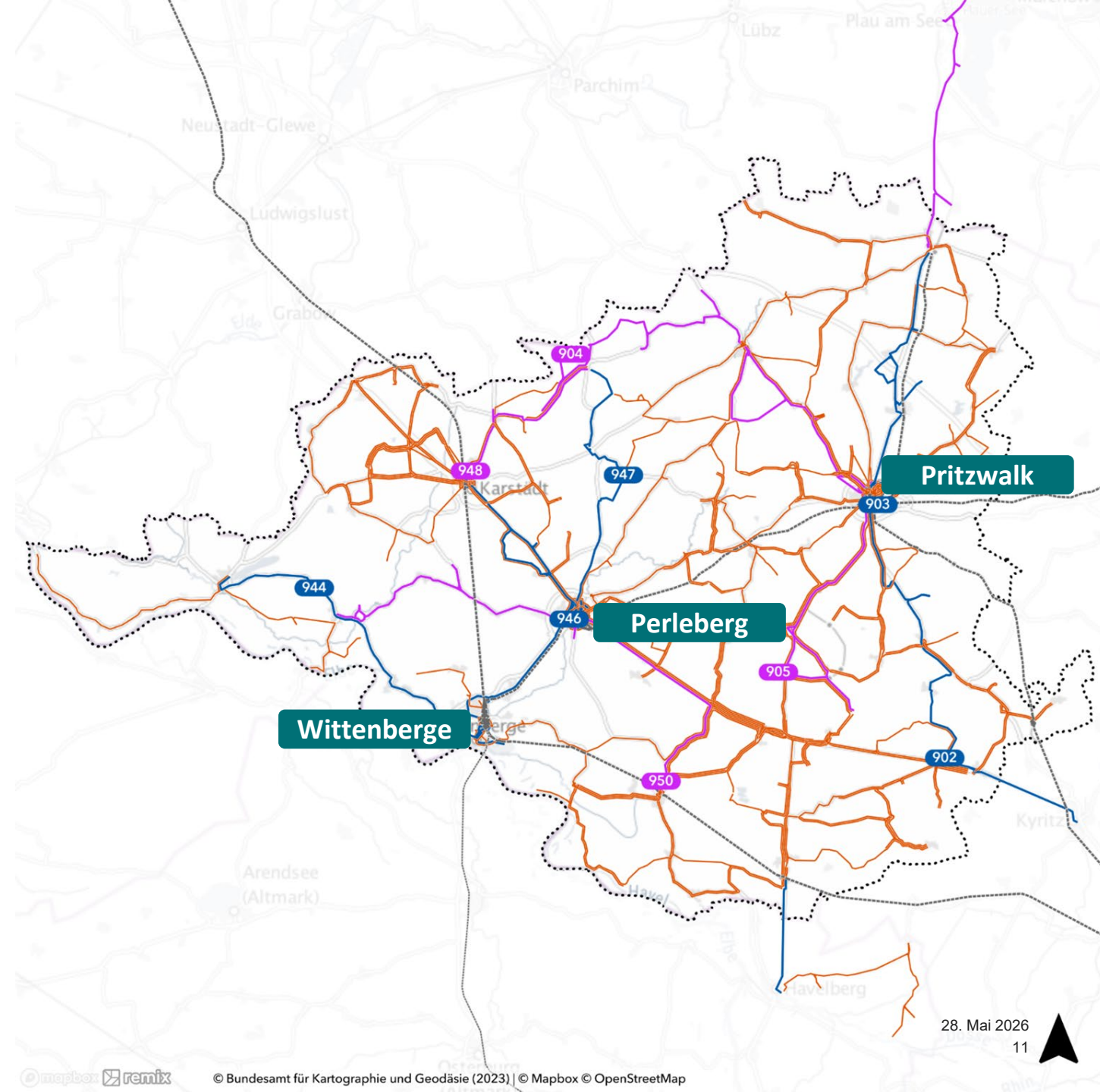


AP1 – Neuplanung des ÖPNV-Netzes

Ziel der Mobilitätsanalyse und Netzplanung

Hypothese Netz- und Taktfahrplan

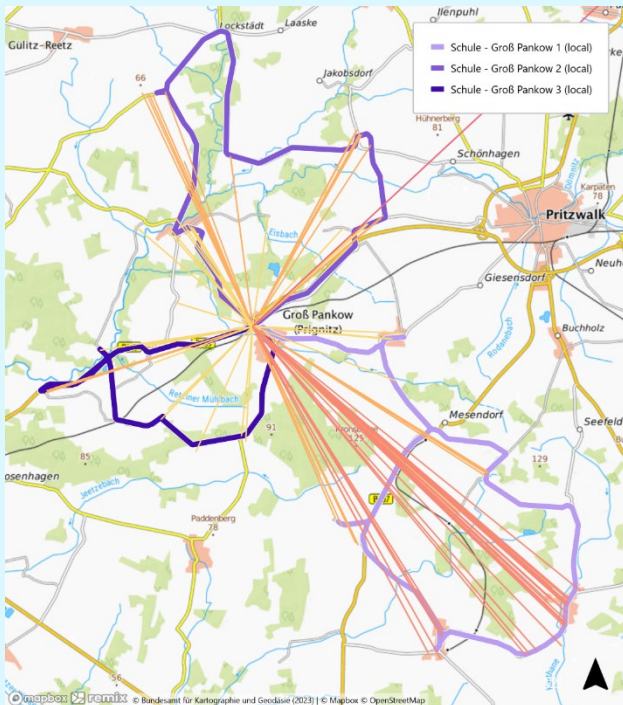
Im Rahmen der Studie ist ein konzeptionelles Liniennetz auf Basis der Anforderungen des NVPs zu entwickeln. Dabei werden auf Grundlage der Mobilitätsanalyse die Substitutions- und Ergänzungspotenziale von On-Demand-Verkehren integral betrachtet.



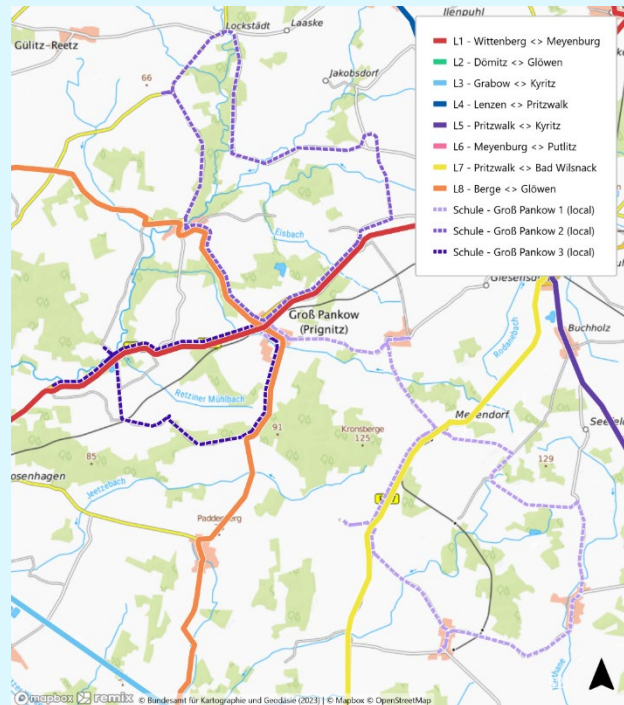
AP1 – Neuplanung des ÖPNV-Netzes

Die Neuplanung des Liniennetzes erfolgte in drei aufeinander aufbauenden Schritten

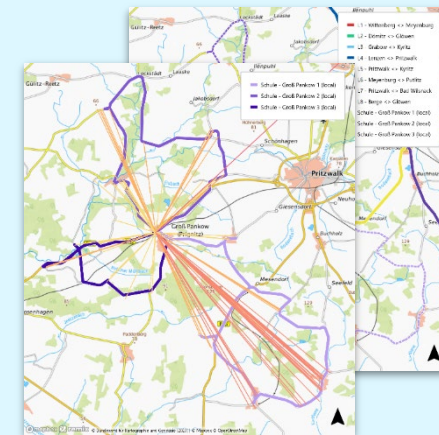
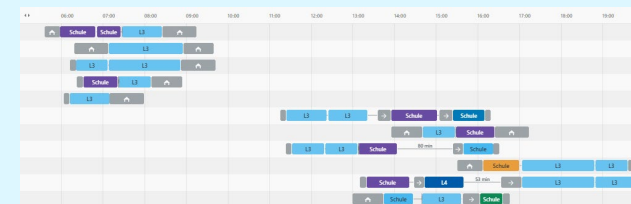
Schulnetz



Leistungsnetz



Umlaufplanung



Integrierte Betrachtung On-Demand-Verkehre

Die Planungsprämissen wurden während des Projekts mit dem Landkreis Prignitz abgestimmt

Schulnetz

- Schulnetz bildet **Grundnetz**, ausgerichtet auf Schulzeiten
- Konzeption auf Basis der realen, aktuellen Schülerdaten - nur im jeweiligen Schulbezirk
- On-Demand wird genutzt, um Anzahl von notwendigen Buslinien zu minimieren
- Auslegung auf Ganztags- schule mit einer Abholzeit (weiterführende Schulen zwei)
- Grundschule Direktfahrten, weiterführende mit Umstieg

Leistungsnetz

- Fünf Fahrtenpaare pro Tag auf regionalen Achsen in **Ergänzung zum Schulnetz**:
2x morgens, 1x mittags,
2x nachmittags/abends
- Kein Parallelverkehr zum Schulnetz, womöglich übernehmen Schullinien Leistungsnetz-Aufgaben
- Kern-Priorität für Fahrplan: Anschlusssicherung an die Bahn an Knotenpunkten
- möglichst direkte Linienwege ohne Stichfahrten

Umlaufplanung

- Umlaufplanung auf Basis von zwei Betriebshöfen in Weisen und Falkenhagen
- Leerkilometer werden separat ausgewiesen, kein Fahrplan ab/bis Depot umgesetzt
- Umlaufplanung in Abstimmung mit eebc auf vollständigen Elektrobetrieb angepasst

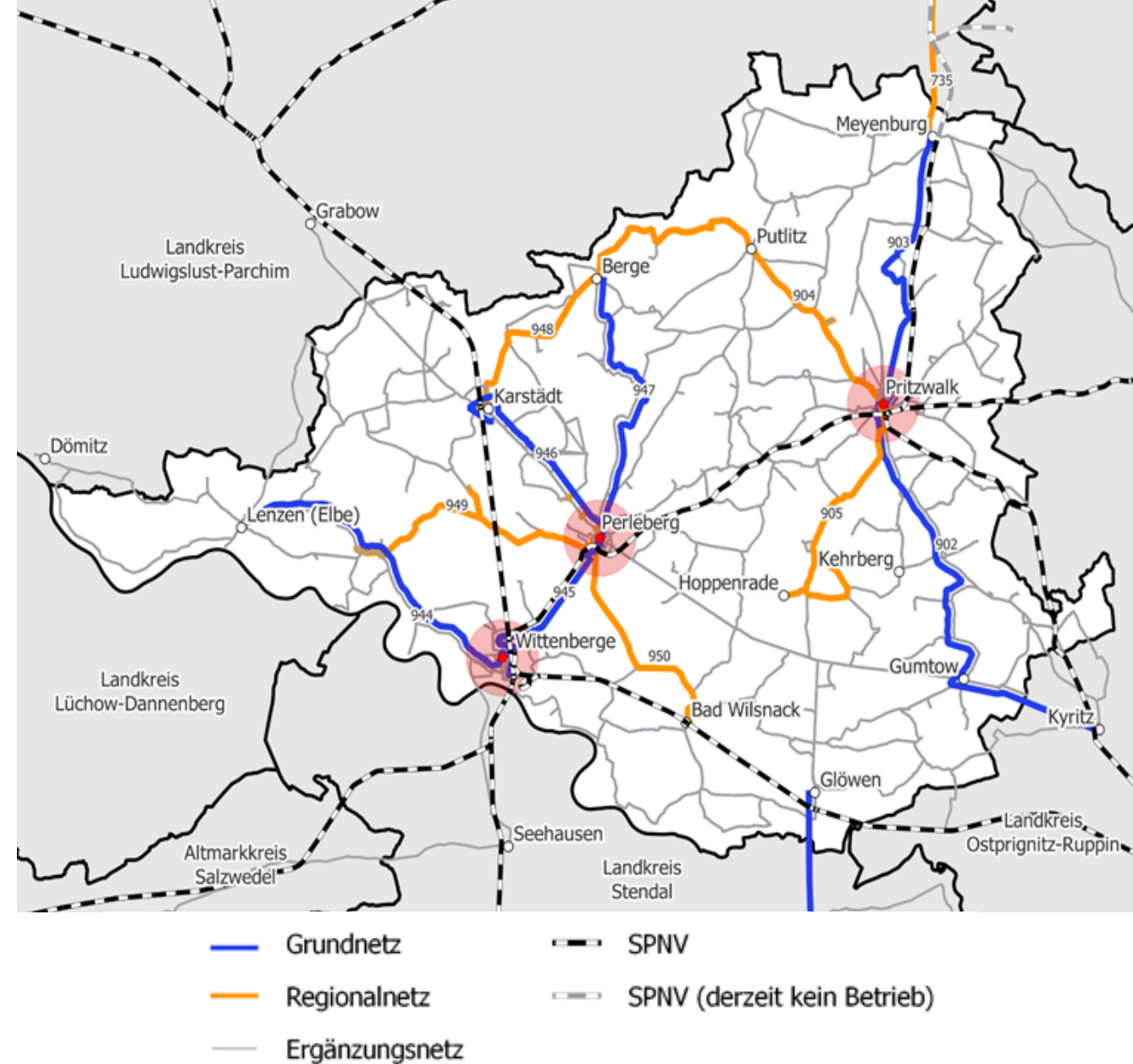
Mobilitätsanalyse

AP1 – Mobilitätsanalyse

Ausgangslage: Derzeitiges Netz

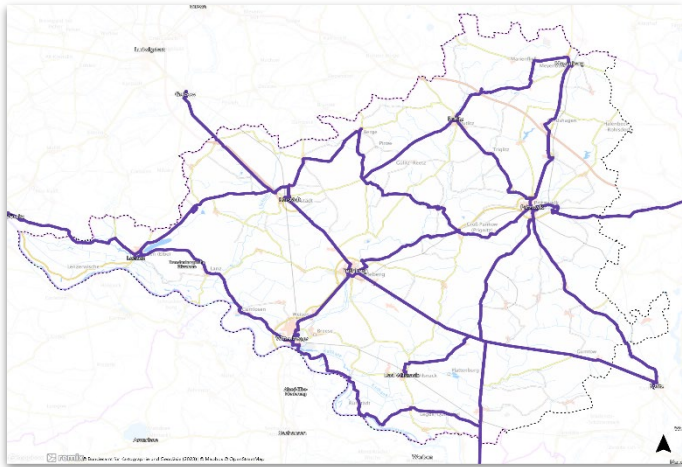
- 47 Linien, aufgeteilt nach;
 - Grundnetz
 - Regionalnetz
 - Ergänzungsnetz
- **3,95 Mio. Fahrplankilometer**
- 86 Fahrzeuge
- 584 Haltestellen mit 1.089 Haltestellenpositionen

Schulnetz ist vollständig im Liniennetz integriert. Das heißt dass Schülerfahrten nicht auf Basis der Liniennummer oder Linienwege zu identifizieren sind

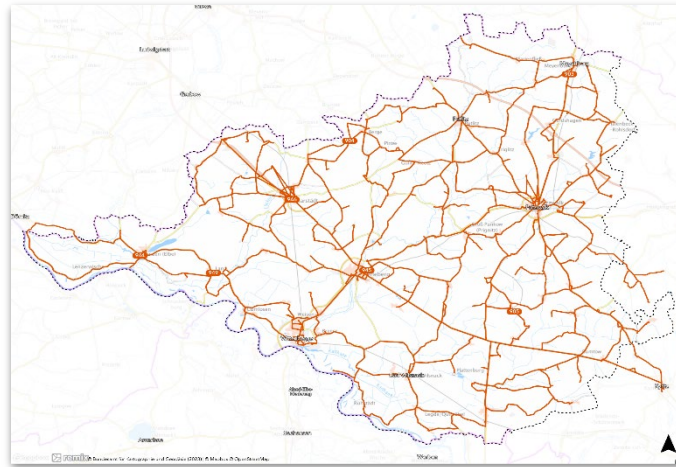


AP1 – Mobilitätsanalyse

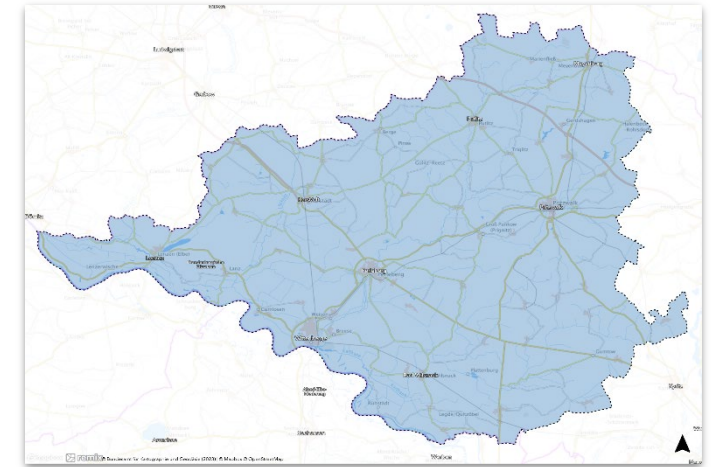
Aufbauend auf dem Nahverkehrsplan kreieren wir ein Grundnetz + Schülerrouen + On-Demand-Angebote im gesamten Landkreis



Leistungsnetz



Schulverkehr



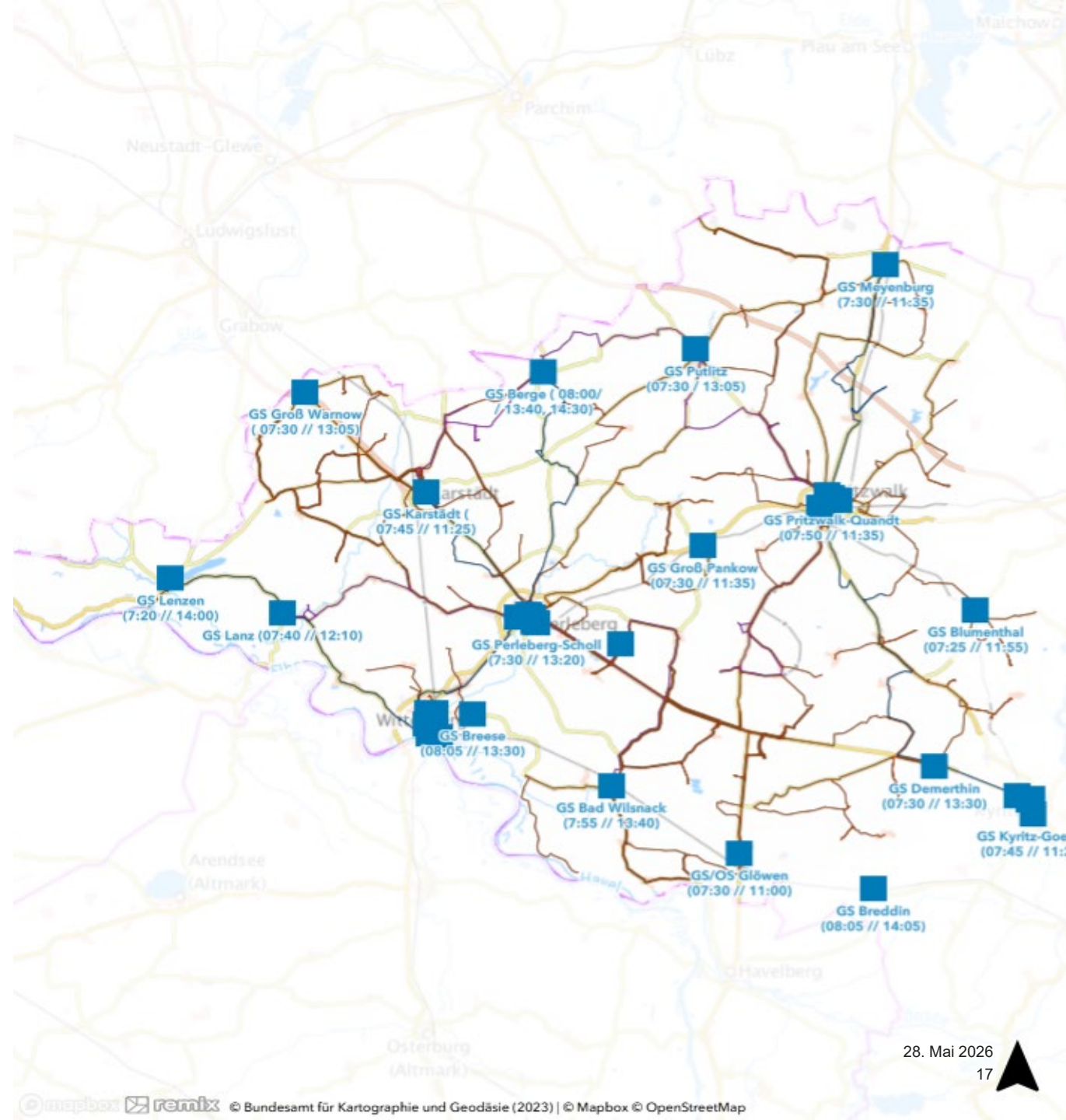
On-Demand im ganzen LK

AP1 – Mobilitätsanalyse Schulnetz auf Basis Schulzeiten und -Standorte extrahiert

Schülerfahrten wurden anhand der tatsächlichen Start- und Endzeiten der Schulen identifiziert und beibehalten.

Sonstige Fahrten wurden aus dem Fahrplan gelöscht

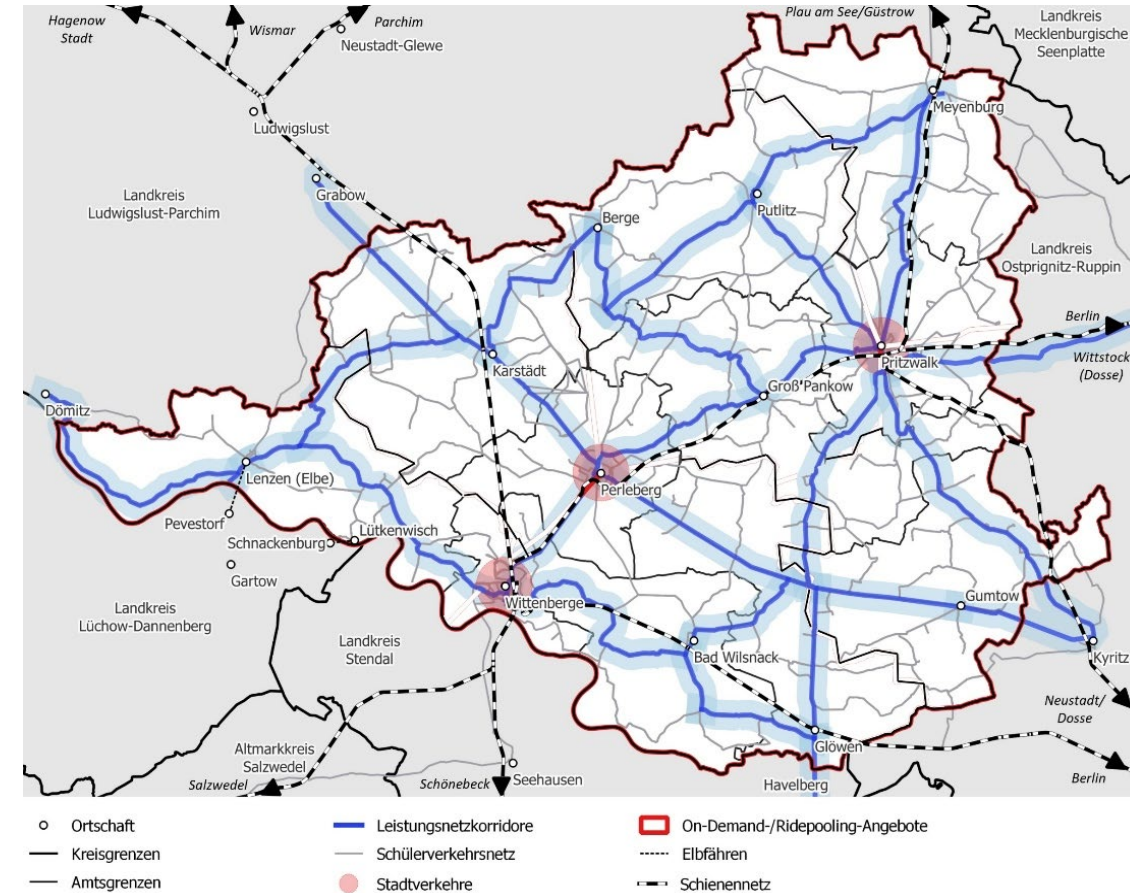
Days	Pattern	Runtime ↕	Headsign	🚶	🚲	Inbound				
						1	2	3	4	5
M - F	G	47 min	Meyenburg, Schule	☑	☑	-	11:48	11:52	11:55	11:57
M - F	C	53 min	Meyenburg, Schule	☑	☑	13:43	13:47	13:51	13:54	13:56
M - F	A	29 min	Meyenburg, Bahnhof	☑	☑	-	14:45	-	-	-
M - F	D	54 min	Meyenburg, Bahnhof	☑	☑	15:50	15:54	15:58	16:01	16:03
M - F	A	29 min	Meyenburg, Bahnhof	☑	☑	-	16:45	-	-	-
M - F	A	29 min	Meyenburg, Bahnhof	☑	☑	-	18:45	-	-	-



AP1 – Mobilitätsanalyse

Das Leistungsnetz muss neu geplant werden

- Ausgangslage: Leistungsnetz noch nicht konzipiert, nur Leistungskorridore sind im NVP grob vorgeschlagen
- Fahrzeiten wurden größtenteils auf Basis bestehende Fahrlagen ermittelt
- Für weitere Konzeption sind Verbindungen nach Grabow und Wittstock vorerst nicht berücksichtigt (Bahnverbindung RE6/RE8 vorhanden). Anbindung Dömitz würde zusätzlichen Bus erfordern.

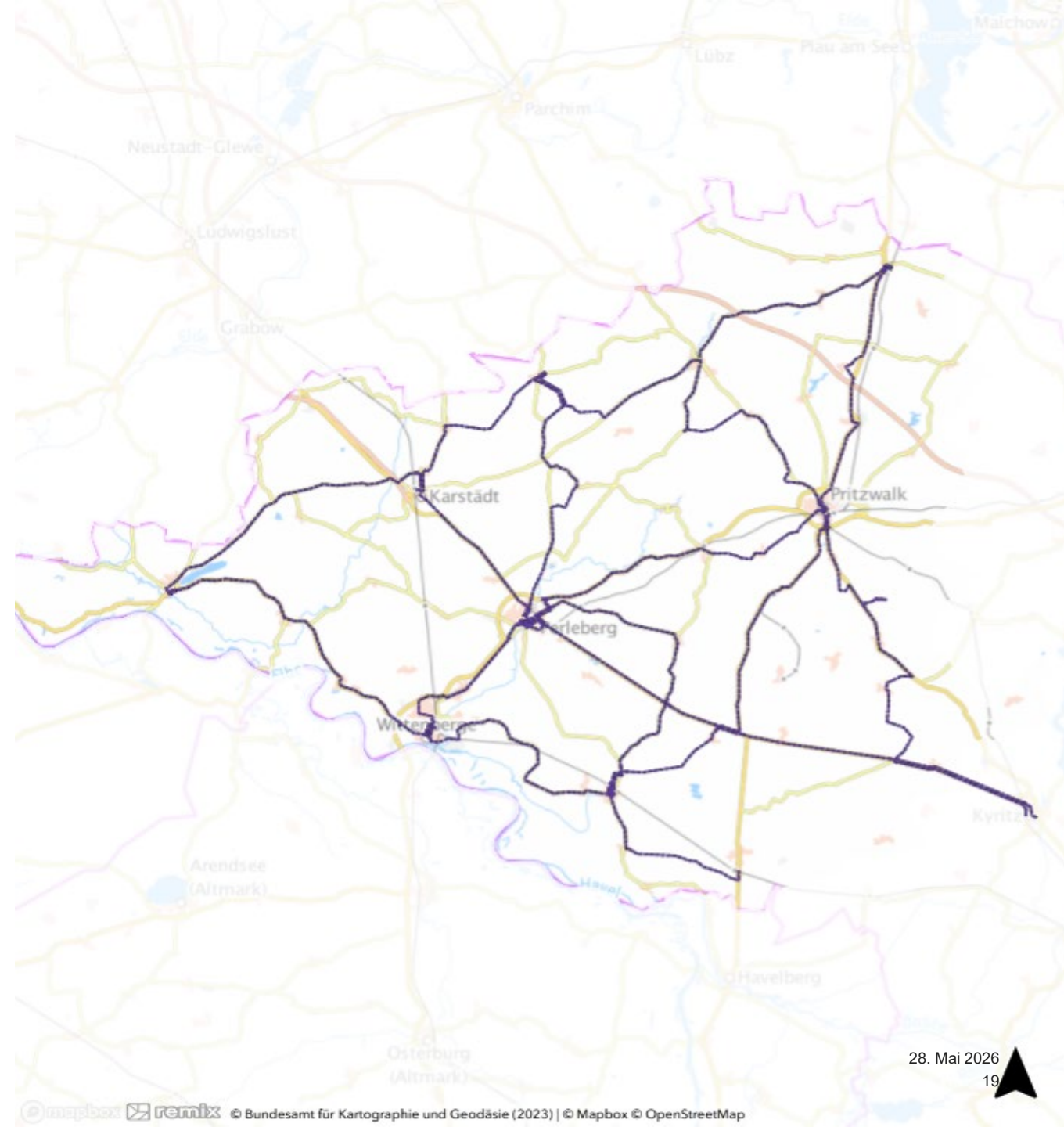


AP1 – Mobilitätsanalyse

Herausforderungen Konzeption Leistungsnetz

Getrennte Planung des Leistungsnetzes (saubere Taktung für 5 Fahrtenpaare) macht sowohl aus Fahrgastperspektive als auch aus betrieblicher Sicht keinen Sinn:

- Parallelfahrten zwischen Leistungs- und Schulnetz sollten vermieden werden, stattdessen sollten Lücken bestmöglich abgedeckt werden
- Erhöhter Fahrzeugbedarf bei Parallelfahrten zu sonstigen Spitzenlastzeiten
- Variabilität im Schulnetz verhindert saubere Taktung: Im Schulnetz gibt es in der Regel je Schule nur eine Hinfahrt aber 2-3 Rückfahrten



Übersicht Fahrplankilometer im Linienverkehr

	Bestand <i>Fahrplan 2024</i>	NVP-Netz <i>Ausschuss 2024</i>
Schulnetz	-	2.200.000
Stadtbusnetz	263.000	280.000
Leistungsnetz	-	1.200.000
Regional-/Grund- und Ergänzungsnetz	3.687.000	-
Insgesamt	3.950.000	3.680.000

Ergebnisse der Mobilitätsanalyse

Das bisherige ÖPNV-Netz im Landkreis besteht aus einer Vielzahl von Schulnetzlinien, die vollständig im sonstigen Liniennetz integriert sind. Eine Aufteilung des aktuellen Netzes in ein Schul- und ein nicht-schulisches Netz ist nicht möglich. Insgesamt werden mit 86 Fahrzeugen etwa 3,95 Mio. Fahrplankilometer bedient.

Die Mobilitätsanalyse hat ergeben, dass sowohl das Leistungsnetz als auch das Schulnetz komplett neu erarbeitet werden müssen. Der Nahverkehrsplan (NVP) gibt außer Leistungsnetz-Korridoren keine konkreten Vorgaben vor. Das Schulnetz muss auf Basis tatsächlicher Schülerzahlen neu erarbeitet werden, um Effizienzen aus der Separierung des Schulnetzes vom Leistungsnetz, sowie aus der Einführung des On-Demand-Verkehrs zu heben.

Eine direkte Vergleichbarkeit zwischen aktuellem Busnetz und den im NVP dargestellten Abschätzungen für Schulnetz, Stadtbusnetz und Leistungsnetz ist nicht möglich. Auf einen direkten Vergleich des in diesem Projekt ausgelegten Netzes zu den Abschätzungen im NVP wird verzichtet mit Hinblick auf die Weiterentwicklung der Randbedingungen an das ÖPNV-Netz (u.a. vollständige Neuplanung Schulnetz) gegenüber den NVP-Annahmen.

Schulnetzplanung

AP1 – Schulnetzplanung

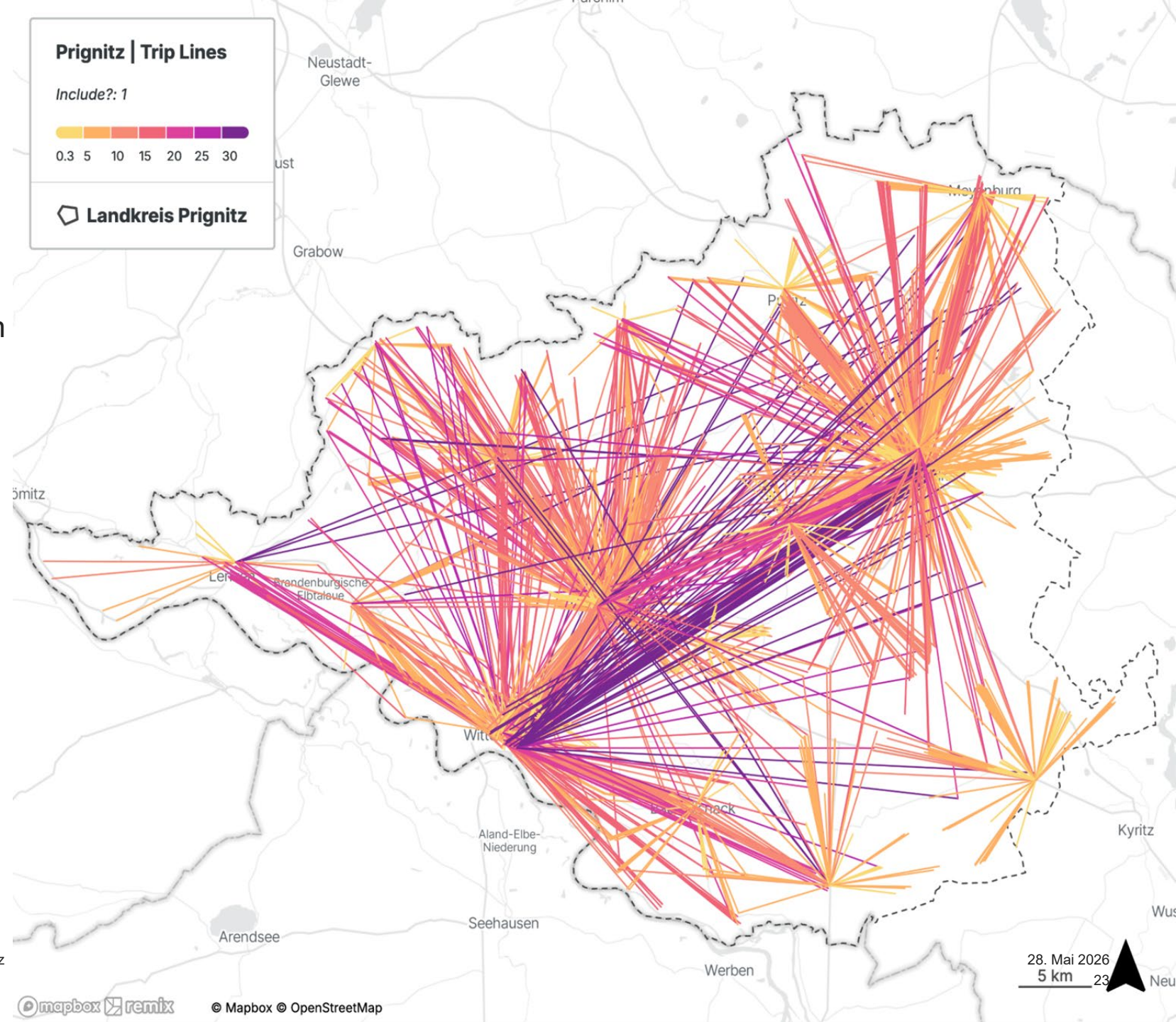
Annahmen Schulnetz

Alle Schüler:Innen der Grundschulen, die im Einzugsbereich der Schule leben, sollen eine direkte Verbindung zur Schule haben. Für Schüler:Innen an Oberschulen ist ein Umstieg vertretbar.

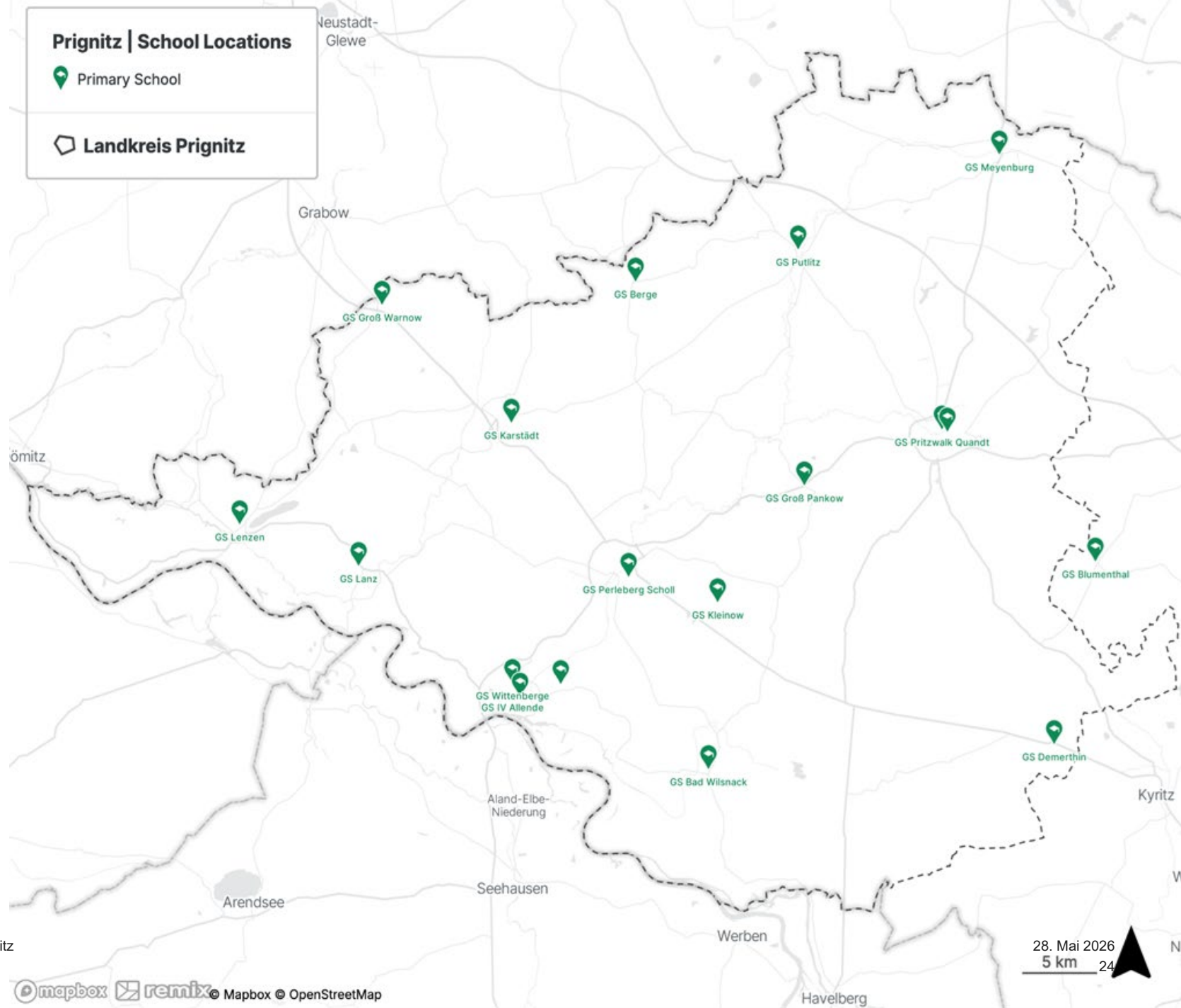
Anzahl Schüler:Innen: **2.573**

Median Distanz: **7,6 km**

Durchschn. Distanz: **10,0 km**

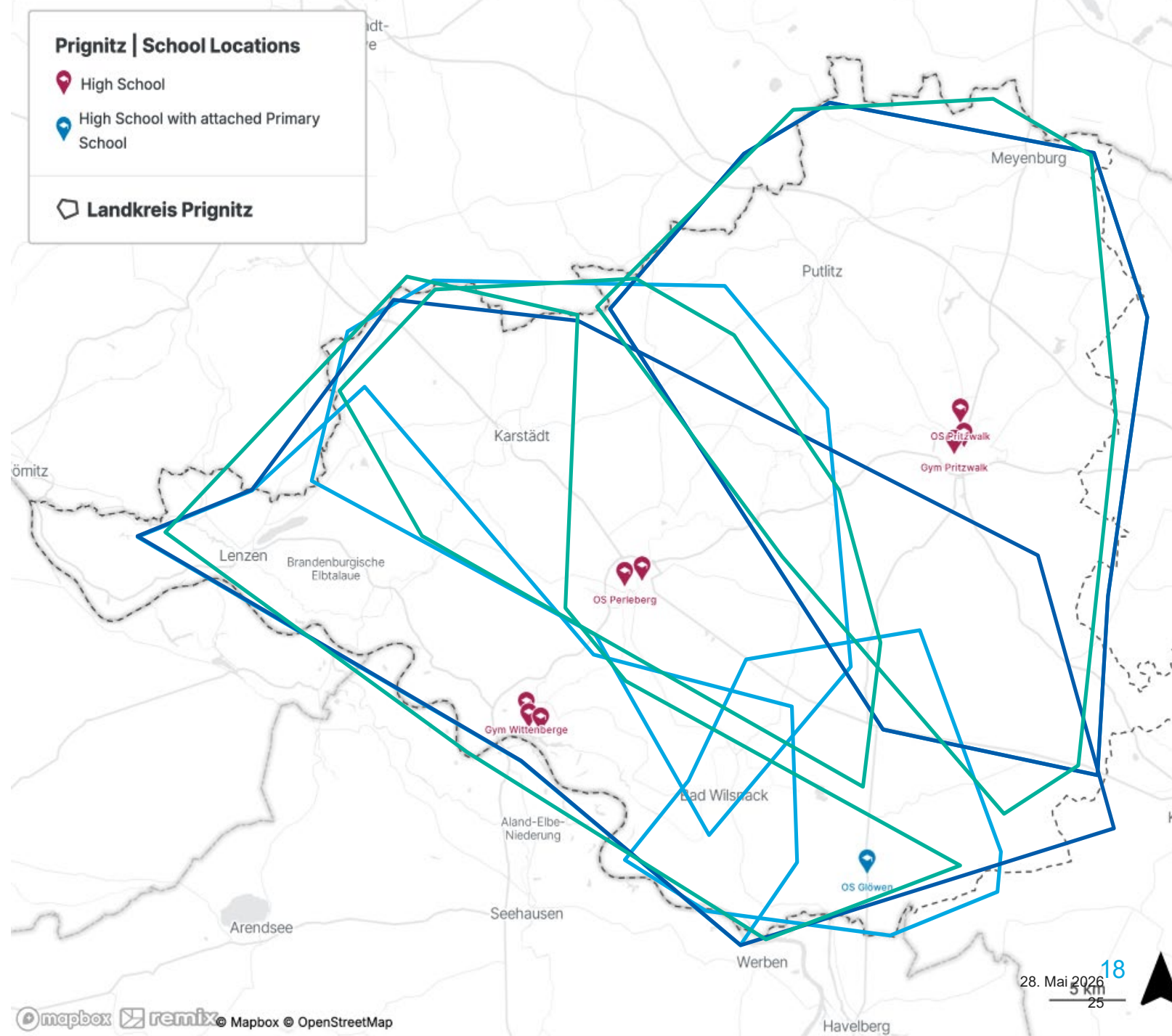


AP1 – Schulnetzplanung Schuleinzugsbereiche der Grundschulen



AP1 – Schulnetzplanung Schuleinzugsbereiche der weiterführenden Schulen

- | Gymnasien
- | Oberschulen
- | Oberstufenzentren



Ansatz Schulnetzplanung

Das Schulnetz ist in diesem Projekt komplett neu ausgelegt worden.

Startpunkt ist eine Übersicht der Wohnorte aller Schüler:Innen unter Zuordnung zu den jeweiligen Grund- und weiterführenden Schulen. Anspruch ist jeder Grundschüler:in eine direkte Schulfahrt, und jeder Oberschüler:in die generelle Fahrt mit dem ÖPNV zur Schule (mit Umstiegen), jeweils innerhalb vertretbarer Fahrtzeiten, zu ermöglichen. Dies wird jeweils für die Schuleinzugsbereiche umgesetzt.

Neben einer effizienten Routenführung von neu geplanten Busrouten, ist dafür der Einsatz von On-Demand-Fahrzeugen zur Beförderung verstreut lebender Schüler:Innen gedacht.

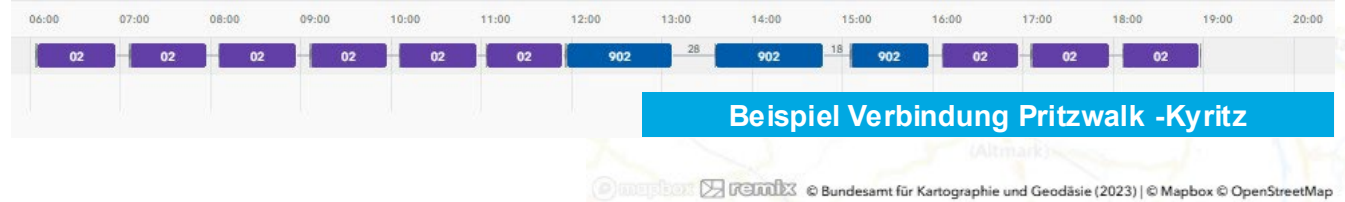
Leistungsnetzplanung

AP1 – Leistungsnetzplanung

Planungsansatz

Leistungsnetz

1. **Konzeption beschleunigte Linienwege** mit realistischen Fahrzeiten
2. **Ankünfte und Abfahrtszeiten an Bahnhöfe** der Linien RE6 und RE6 (regelmäßige Taktung) auf Basis des Bestandnetzes als **Ankerpunkte** festgelegt
3. Fahrplanplanung für neue Linien im Leistungsnetz in groben 2-Stunden-Takt geplant
4. **Anpassung der Fahrpläne** auf Basis der Fahrlagen des Schulnetzes um Parallelfahrten zu vermeiden und Fahrzeuge zu sparen

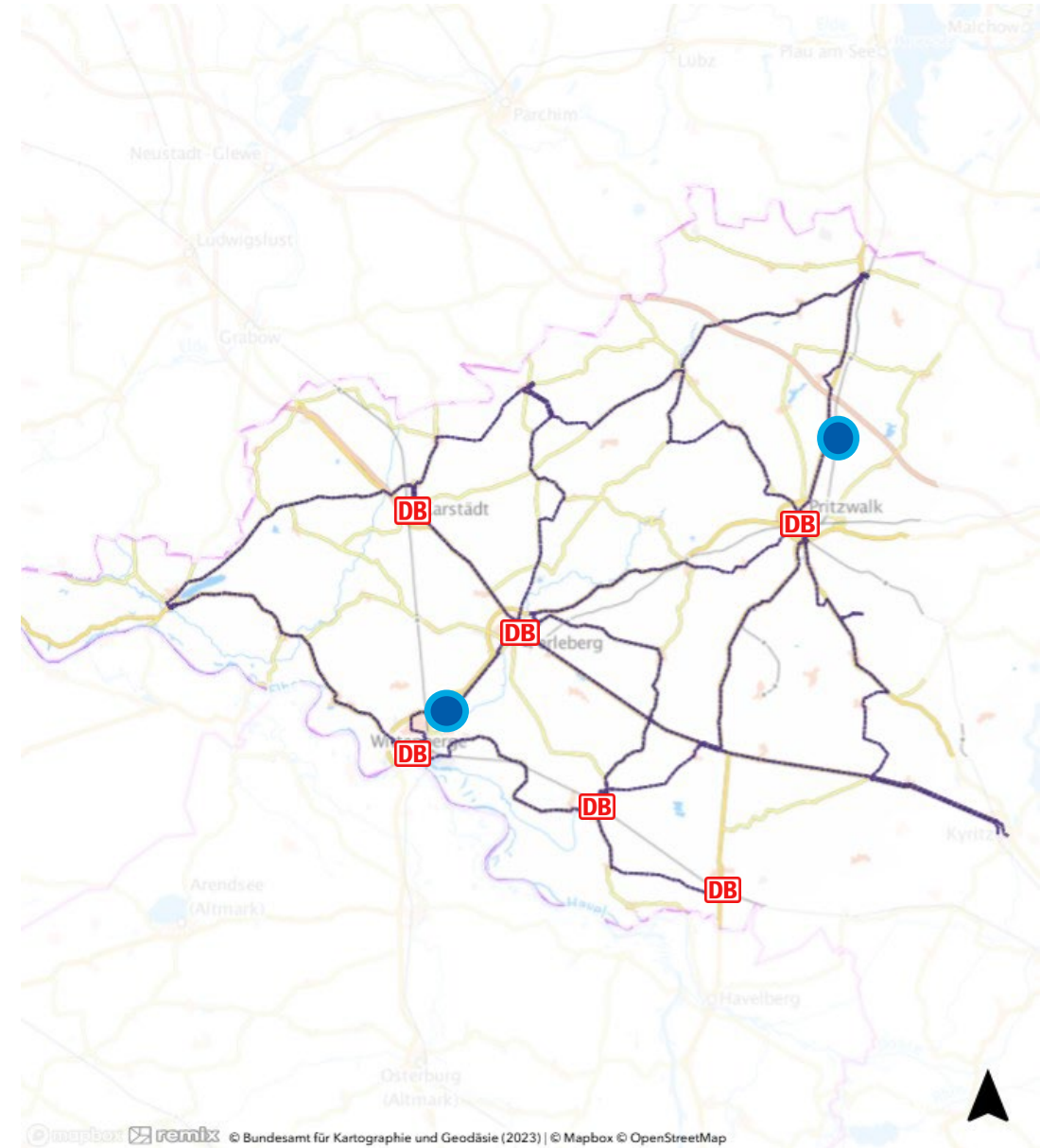


AP1 – Leistungsnetzplanung

Annahmen initiale

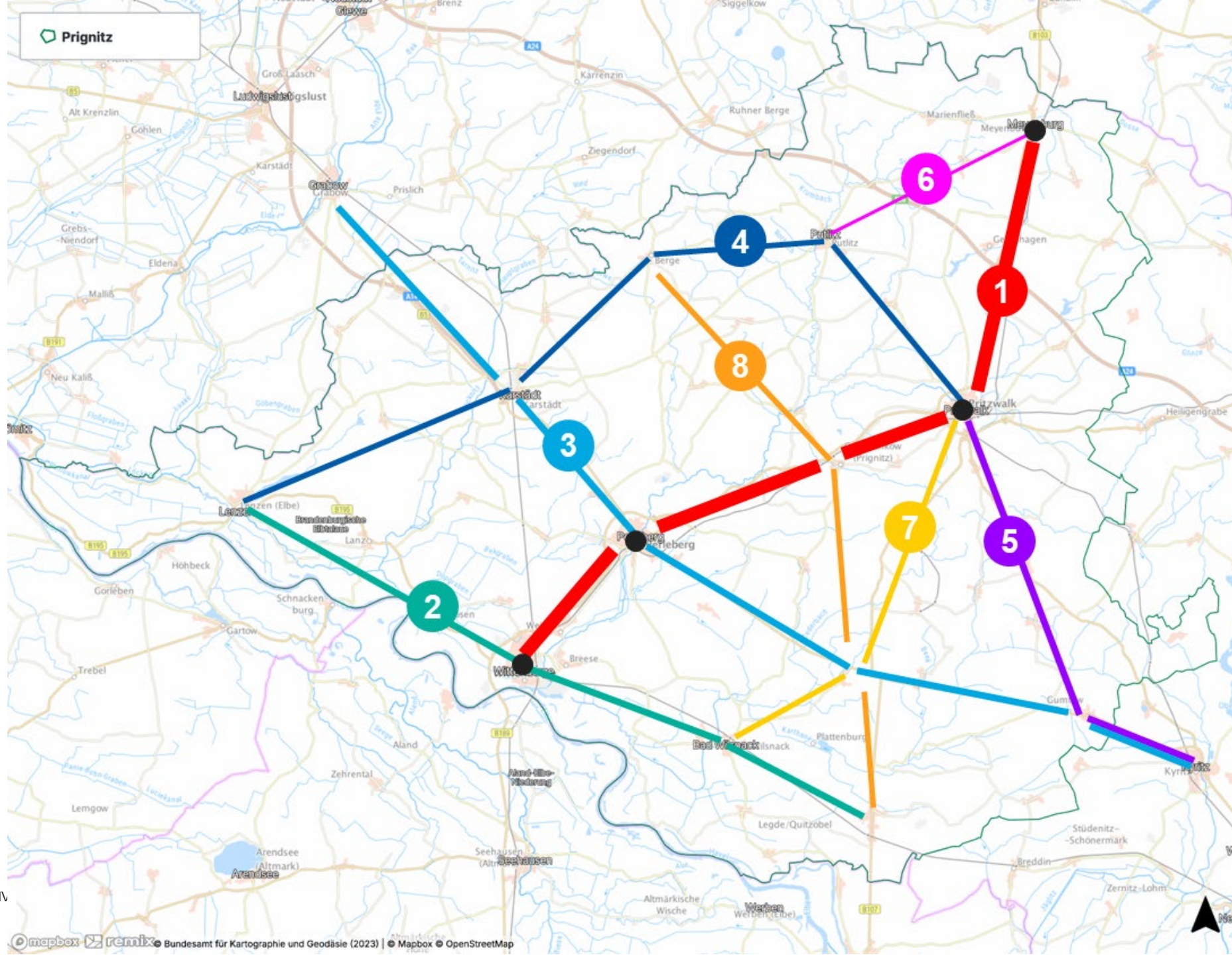
Umlaufplanung

1. **Depots:** Für die Umlaufplanung werden zwei initiale Depots verwendet:
 - Chausseestraße, 19322 **Weisen** (aktuell: Reisedienst Westprignitz)
 - Rolf-Hövelmann-Straße 13, 16928 **Pritzwalk-Falkenhagen**
2. Freie Kombination von Fahrzeugen über alle Linien hinweg



AP1 – Leistungsnetzplanung Ausrichtung des Leistungsnetzes

- Kernanforderung ist die Anbindung an die Bahnlinie in Hochlastzeiten (morgens zur Bahn, nachmittags von der Bahn)
- Linien sollten an Umstiegspunkten aufeinander abgestimmt sein, wo möglich



AP1 – Leistungsnetzplanung

Auslegung der Leistungsnetzlinien auf Bahn (Priorität 1), Schule, Umstieg oder die Rückkehr nach einer Bahnanbindung

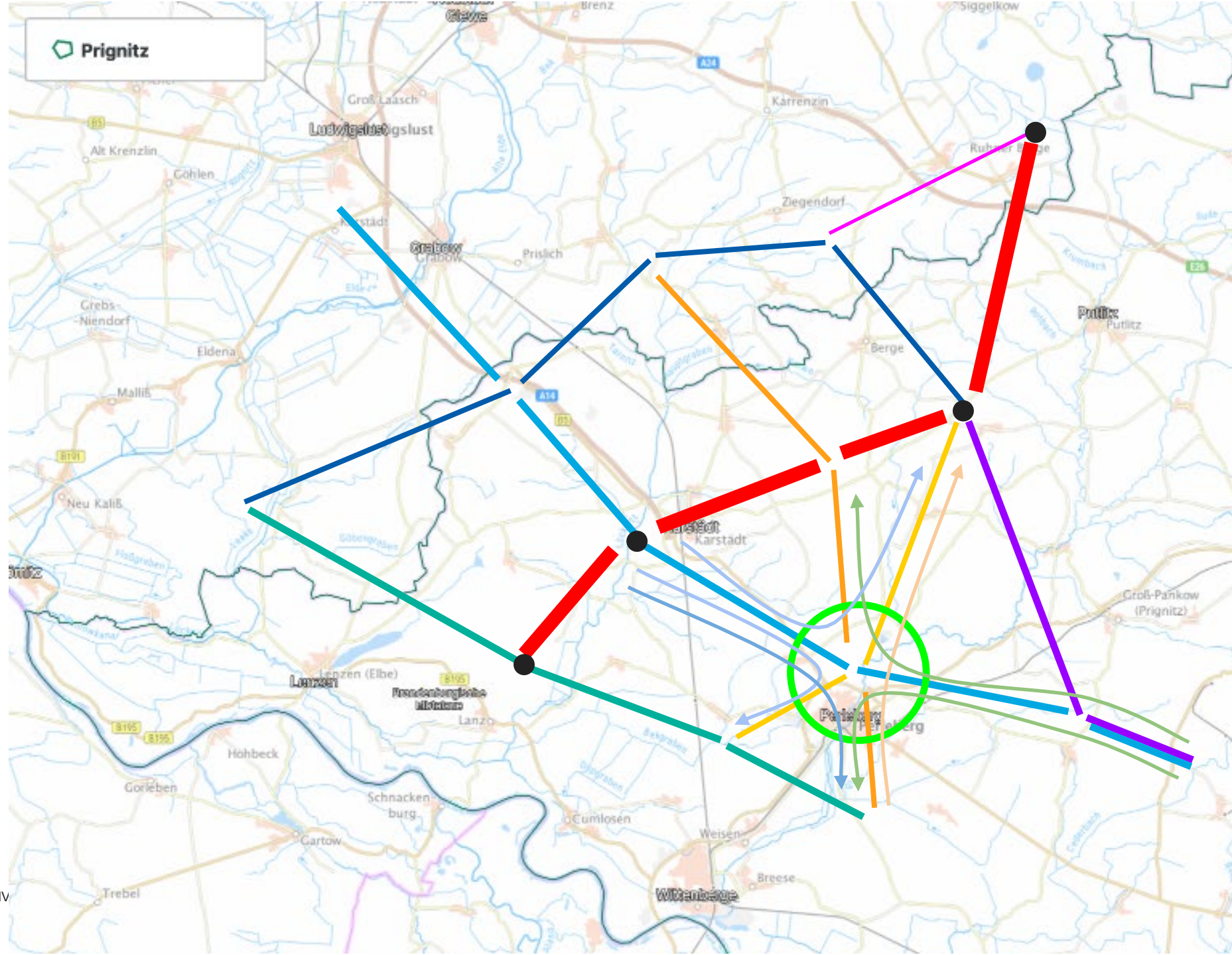
1	2	3	4	5	6	7	8
-> Meyenburg	-> Lenzen	-> Karstädt	-> Pritzwalk	-> Pritzwalk	-> Meyenburg	-> Pritzwalk	-> Glöwen
Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn
Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Putlitz Umstieg	Bahn	Bahn
Bahn	Schule	Schule	Schule	Retour	Putlitz Umstieg	Retour	Bahn
Bahn	Bahn	Bahn	Retour	Retour	Retour	Retour	Retour
Bahn	Bahn	Bahn	Retour	Retour	Retour	Retour	Retour
-> Wittenberge	-> Glöwen	-> Kyritz	-> Lenzen	-> Kyritz	-> Putlitz	-> Bad Wilsnack	-> Berge
Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Retour	Bahn	Retour
Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Retour	Bahn	Retour
Bahn	Schule	Schule	Schule	Schule	Putlitz Umstieg	Schule	Bahn
Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn
Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn	Bahn

AP1 – Leistungsnetzplanung Neuer Umstiegs- punkt in Kletzke

Umstiege nur morgens
gesichert

- aus Glöwen nach Pritzwalk
- Aus Kyritz nach
Berge / Glöwen
- Aus Perleberg nach
Pritzwalk / Bad Wilsnack
- Aus Perleberg nach
Glöwen

Über den Tag sind einzelne
andere Umstiege möglich,
Bahn-Abfahrten priorisiert



Ansatz Leistungsnetzplanung

Das Leistungsnetz ist in diesem Projekt komplett neu ausgelegt worden.

Startpunkt sind die Leistungskorridore aus dem NVP. Kernrandbedingung ist die Anbindung an die Bahnlinien, sowie die Planung auf 5 Fahrtenpaare je Tag. Ziel ist so die schnelle Verbindung von Kernorten im Landkreis zu Hauptreisezeiten unter der Annahme, dass die Feinerschließung mit dem On-Demand-Verkehr oder in Teilen durch Nutzung der Schulverkehrslinien erfolgt.

Wo es sinnvoll ist, werden in Einzelfällen Schul- und Leistungsnetzlinien verbunden, so dass keine ineffiziente Dopplung der Beförderung entlang eines Korridors entsteht. Die Umlaufplanung sieht dabei den Weiterbetrieb der Leistungsnetzlinie durch den Bus der hinführenden Schulnetzlinie oder umgekehrt vor, so dass auf durchgehenden Wegen kein Umstieg nötig ist.

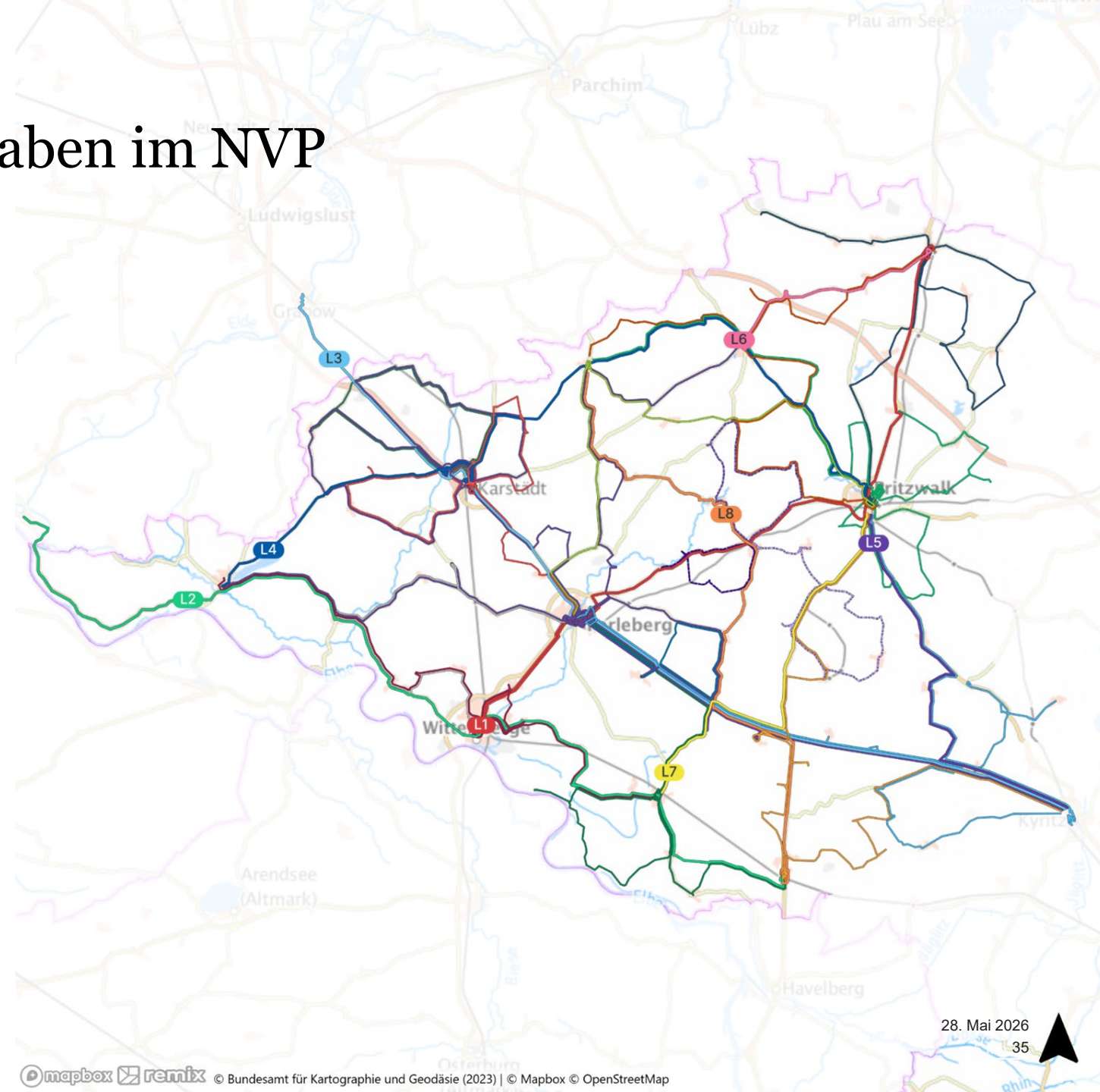
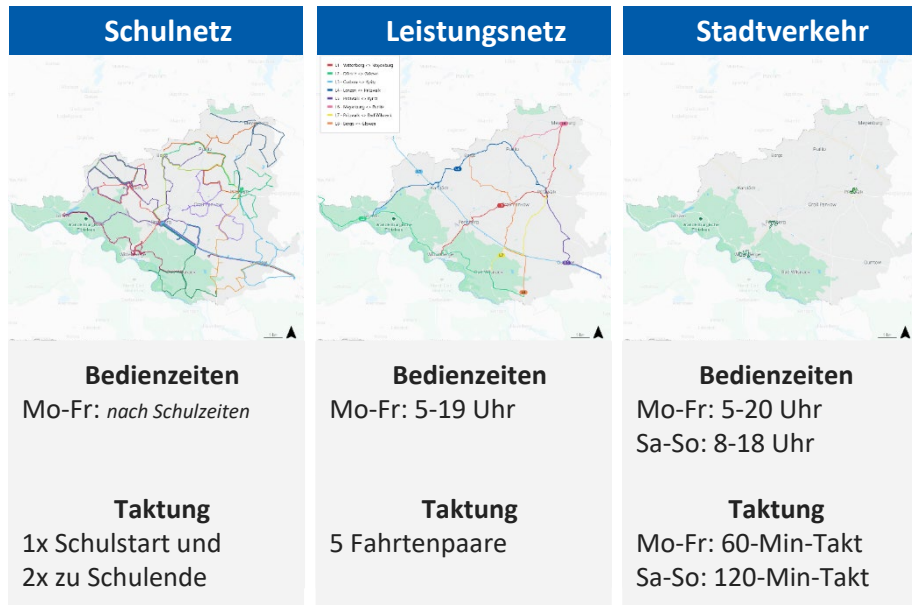
Für die für die Realisierbarkeit notwendige Umlaufplanung werden dabei die zum Projektzeitpunkt zwei durch den Landkreis identifizierte potenzielle Depotstandorte genutzt.

Ergebnis: Gesamtliniennetz

AP1 – Gesamliniennetz

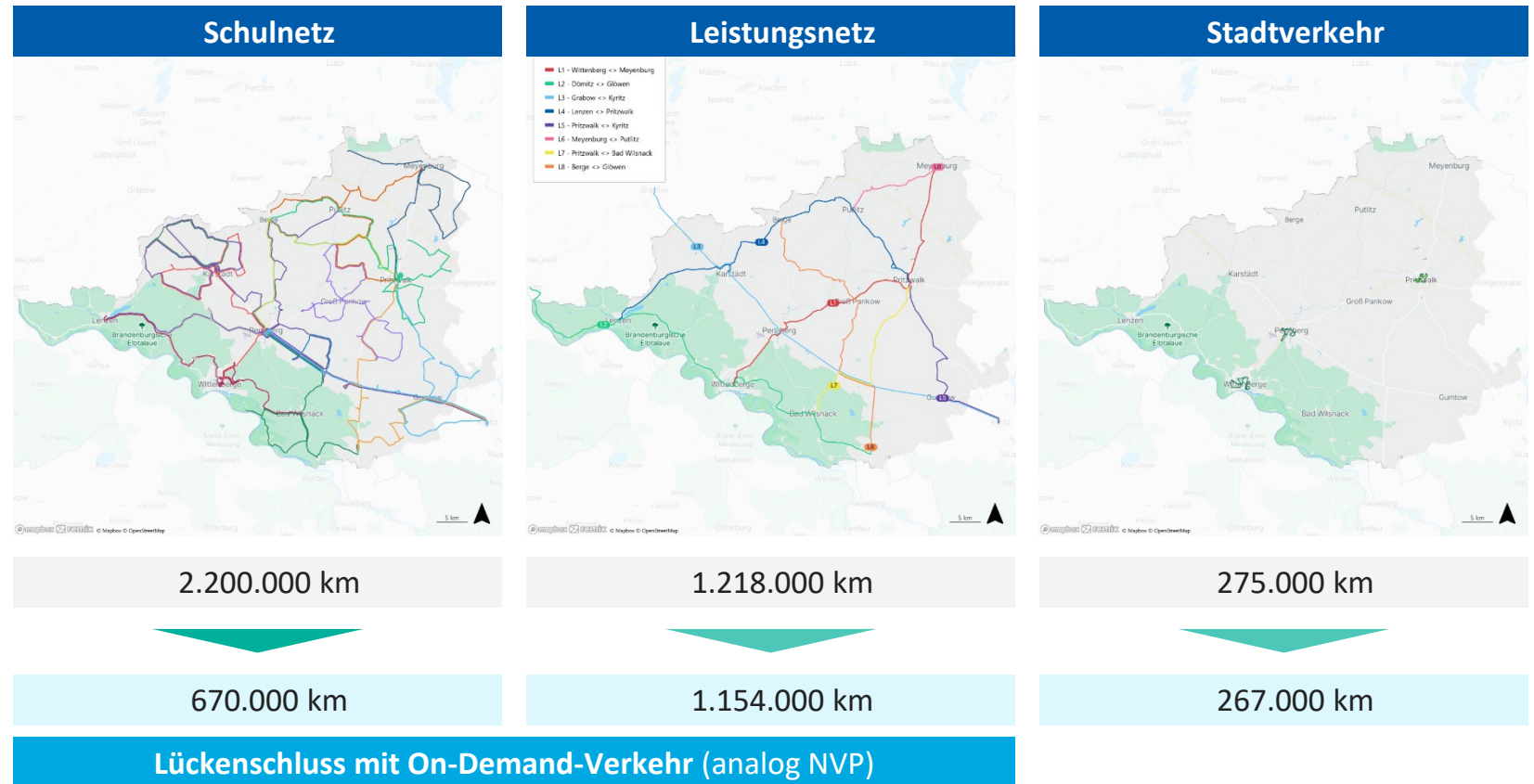
Das Liniennetz erfüllt die Vorgaben im NVP

Die Anforderungen an die Angebotsqualität gemäß NVP werden im neuen Liniennetz erreicht. Die Linienwege der Stadtbusverkehre werden nicht angepasst, eine Ausweitung der Betriebszeiten laut NVP ist jedoch berücksichtigt.



AP1 – Gesamtliniennetz

Vor allem im Schulverkehr konnten ggü. der NVP-Schätzung durch integrierte Planung viele Fahrplankilometer eingespart werden



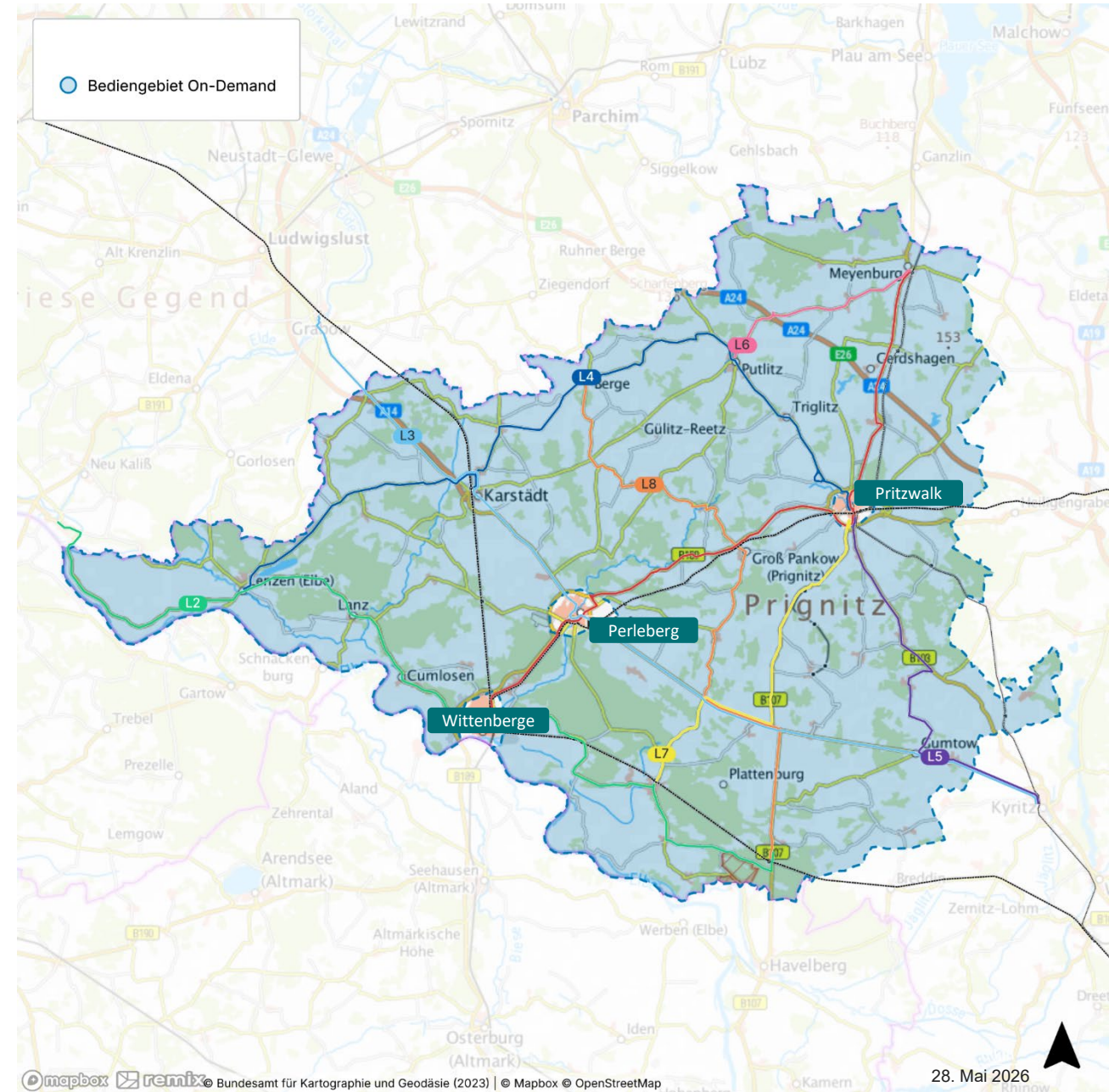
Auslegung On-Demand-Verkehr

AP1 – Auslegung On-Demand-Verkehr

On-Demand ist Feinerschließung, Grundmobilität und Schulverkehr

Mit einem reduzierten Busangebot übernimmt der landkreisweite On-Demand-Verkehr viele Aufgaben:

- **Feinerschließung:** Erste und letzte Meile von und zum Leistungsnetz sowie den Bahnlinien
- **Grundmobilität:** Direkte Verbindungen zwischen Orten (außerhalb der Mittelzentren), Verbindung zu Unterzentren und (teilweise indirekt über Leistungsnetz) zu Mittelzentren
- **Schulverkehr:** Beförderung von einzelnen Schüler:Innen, die an durch die Buslinien schlecht erschließbaren Orten wohnen

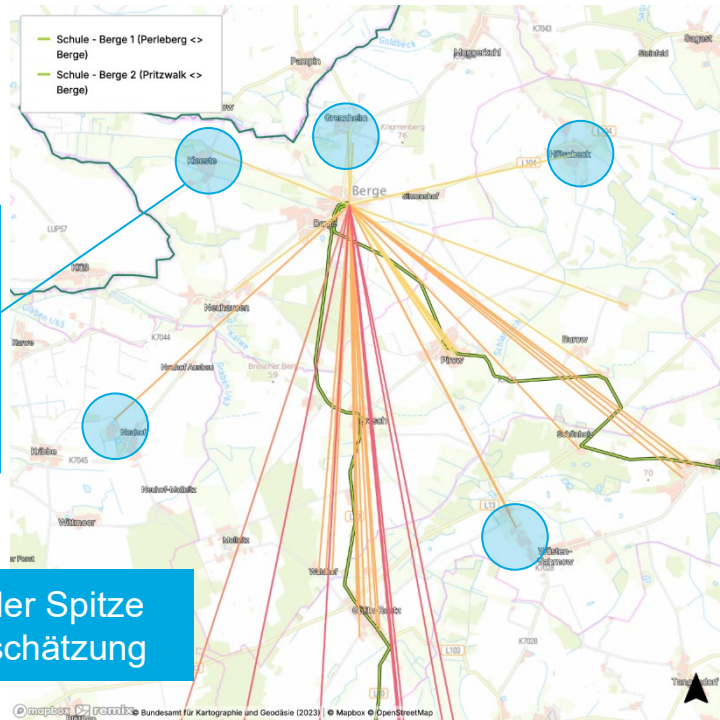


AP1 – Auslegung On-Demand-Verkehr

Fahrzeuge zu Start/Endzeiten exklusiv für Schulfahrten, außerhalb Punkt-zu-Punkt-Fahrten mit Distanzbeschränkung

Schulverkehr

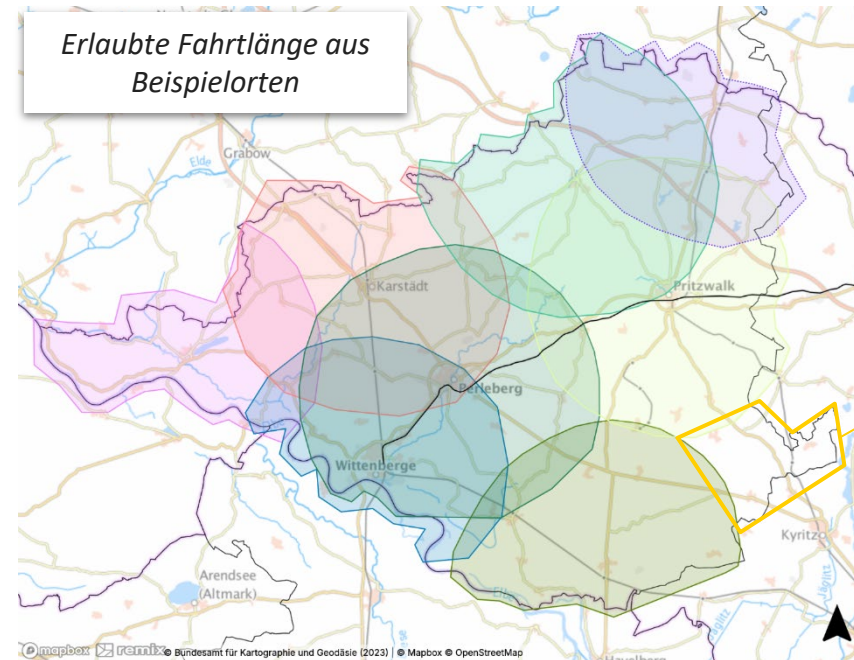
Beförderung von Schüler:Innen, die nicht effizient mit den Linien angebunden werden können



25 Fahrzeuge in der Spitze aus Schulnetz-Abschätzung

Grundmobilität/Feinerschließung

Erlaubte Fahrlänge aus Beispielorten



Fahrt nach Pritzwalk möglich, ggfs. Fahrt nach Kyritz zu prüfen

- **Max. 13,5 km Fahrdistanz** bis ins nächste Unterzentrum
- Am Wochenende: Fahrt **bis zum nächsten Bahnhof**

Bedienzeiten für den On-Demand-Verkehr basieren auf Vorgaben aus dem NVP, Bedienparameter auf Industrie-Best Practices



Bedienzeiten Gesamtverkehr:

Mo-Do: 5:00-22:00 Uhr

Freitag: 5:00-24:00 Uhr

Samstag: 9:00-24:00 Uhr

Sonntag: 9:00-22:00 Uhr



Exklusiv für Schulverkehr:

morgens: 7:00-8:30 Uhr

mittags: 12:30-14:00 Uhr
(weiterführende Schulen)

nachmit.: 15:00-16:30 Uhr

Betriebsparameter



Maximale Wartezeit:
40 Minuten

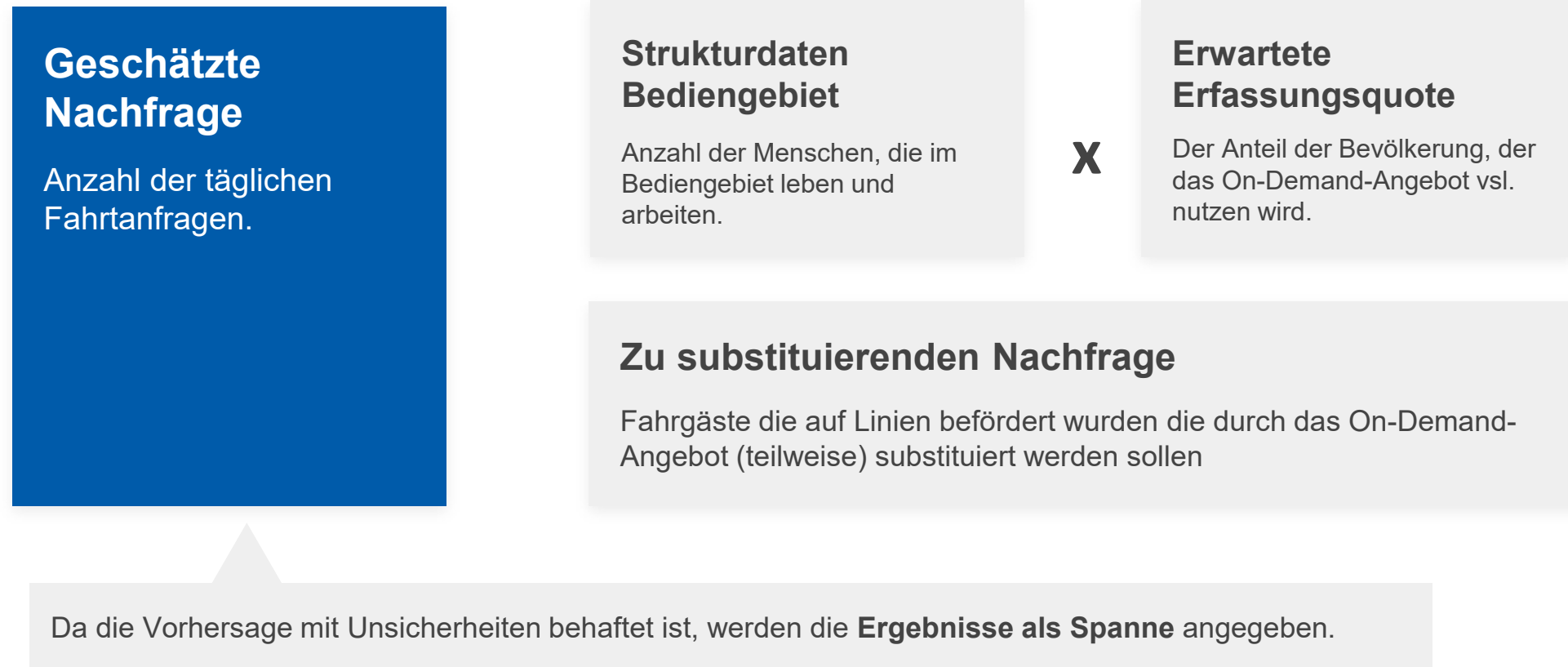


Maximale Laufdistanz:
400 Meter



Besonderheiten:
Vorausbuchung notwendig
für möglichst effizientes
Pooling

Die Nachfrage wird anhand von demografischen Merkmalen und Erfahrungswerten aus vergleichbaren Services entwickelt



Fahrgastzahlen werden für einen Zeitraum von 6-12 Monaten nach Einführung des Angebotes prognostiziert



Hohes-Nachfrage-Szenario

Sehr gut funktionierende Angebote in vergleichbaren Städten zeigen, dass dieses Niveau an Fahrgästen realisierbar ist.



Mittleres-Nachfrage-Szenario

Auf Basis unserer Erfahrungen mit ähnlichen Angeboten ist dies das wahrscheinlichste Ergebnis für die Fahrgastzahlen im ersten Jahr.



Niedriges-Nachfrage-Szenario

Dies kann der Fall sein bei niedrigem Bekanntheitsgrad des Angebots und nur wenigem Fahrgastwachstum.

AP1 – Neuplanung des ÖPNV-Netzes

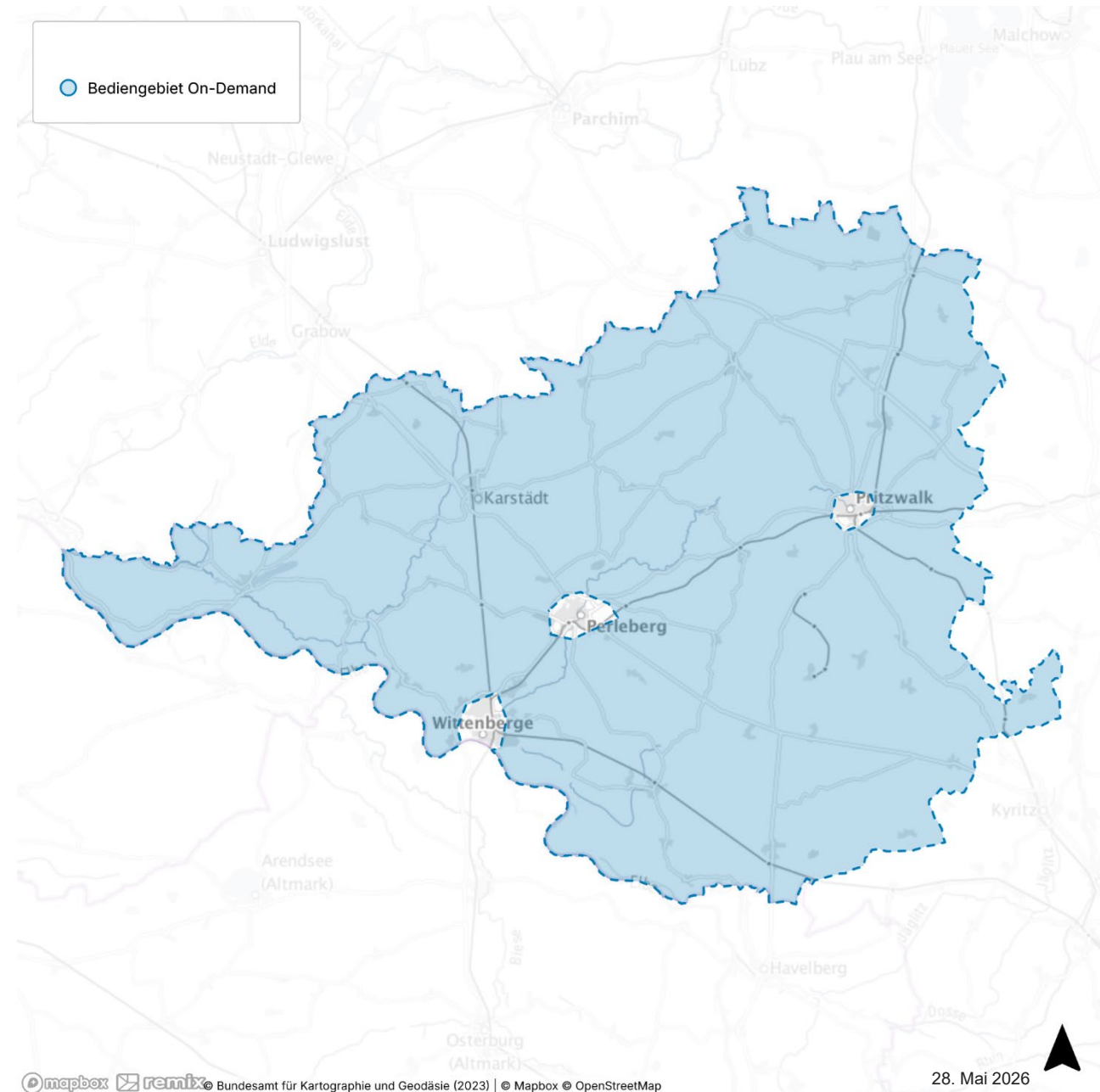
Nachfrageschätzung

Landkreis Prignitz

Die Nachfrageschätzung bezieht sich ausschließlich auf die Fahrgäste für die Anwendungsfälle **Grundmobilität/ Feinerschließung** (exkl. Schulverkehr).

Nachfrage (Wochentag)		
Niedrig	Mittel	Hoch
190	250	325

Nachfrage (Wochenendtag)		
Niedrig	Mittel	Hoch
50	70	90



Für die Grundmobilität und Feinerschließung im Landkreis werden voraussichtlich 22 On-Demand-Fahrzeuge benötigt

Ergebnisse	Niedrig	Mittel	Hoch
Flottengröße <i>Fahrzeuganzahl (Spitze, Grundmob./Feinerschl.)</i>	18	22	25
Fahrgäste (pro Wochentag) <i>Fahrgäste</i>	190	250	325
Fahrgäste (pro Jahr) <i>Fahrgäste</i>	55.000	73.000	94.000
Fahrzeugstunden (pro Jahr) <i>Stunden - Gesamtverkehr</i>	128.507	142.811	150.945
Fahrzeugstunden (pro Jahr) <i>Stunden - Grundmob./Feiner.</i>	100.197	114.501	122.635
Fahrzeugstunden (pro Jahr) <i>Stunden - Schulverkehr</i>	28.310	28.310	28.310

Annahmen für Fahrzeugstunden:

Wochentage

Herleitung Fahrzeugstunden mittels grobe Schichtplanung/Tagesganglinie, basierend auf benötigte Flottengröße für:

- Grundmobilität/Feinerschließung
- Schulverkehr (=25 Fahrzeuge)

Wochenende

20 Fahrzeuge werden durchgängig benötigt, um die Abdeckung des Landkreises in Bezug auf maximale Wartezeiten sicherzustellen

Konzeption des On-Demand-Verkehrs

Der On-Demand-Verkehr ist Landkreis-weit als Feinerschließung, Grundmobilität und Schulverkehr ausgelegt worden. Dabei stehen die in der Spitze 25 Fahrzeuge zu Schulstart- und -endzeiten ausschließlich für Schulfahrten zur Verfügung. Außerhalb dieser Zeiten fahren sie grundsätzlich landkreisweit mit einer Fahrdistanzbeschränkung von 13,5 Kilometern (Luftlinie) und ermöglichen so das Erreichen des nächsten Unterzentrums und die Anbindung ans Leistungsnetz.

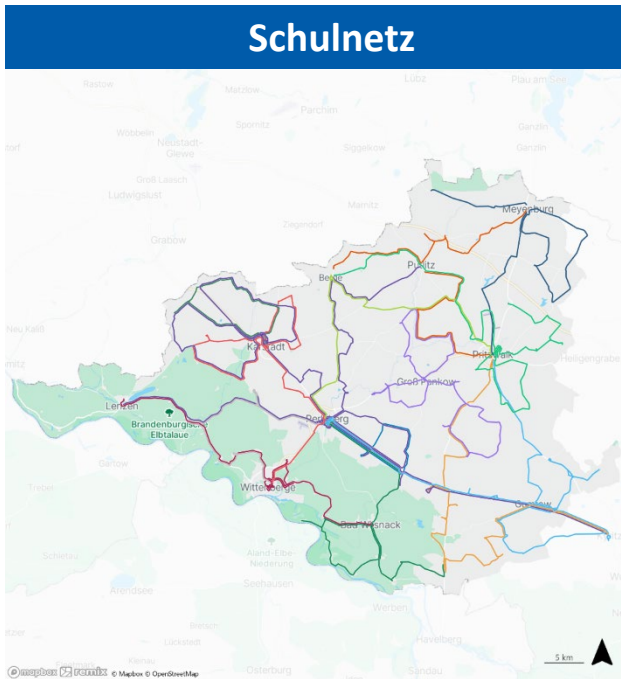
Die Bedienzeiten sind auf die Anforderungen des NVP abgestimmt und ermöglichen eine umfangreiche Bedienung an allen Wochentagen bis in den späten Abend hinein und damit eine deutliche höhere Beförderungsqualität als das bisherige ÖPNV-Netz. Zur Ermöglichung eines effizienten Betriebs sind Best Practice Parameter für die Beförderungslogik vorgeschlagen worden.

Mit Hilfe einer erprobten Nachfrageschätzung und darauf basierender Simulation des On-Demand-Verkehrs, werden für die Grundmobilität und Feinerschließung bis zu 22 Fahrzeuge (am Wochenende 20 Fahrzeuge) benötigt, die voraussichtlich mit ~28.000 Fahrzeugstunden etwa ~115.000 Fahrgäste im Jahr befördern. Der Schulverkehr wird mit 25 Fahrzeugen bedient und ist in diesen Zahlen nicht enthalten.

Ergebnis: ÖPNV im Landkreis Prignitz

AP1 – Neuplanung des ÖPNV-Netzes

Gesamtübersicht des neuen ÖPNV-Netzes für den LK Prignitz



Neuplanung Bus-Netz

670.000 Fahrplan-km

1.154.000 Fahrplan-km

267.000 Fahrplan-km

Neuplanung On-Demand

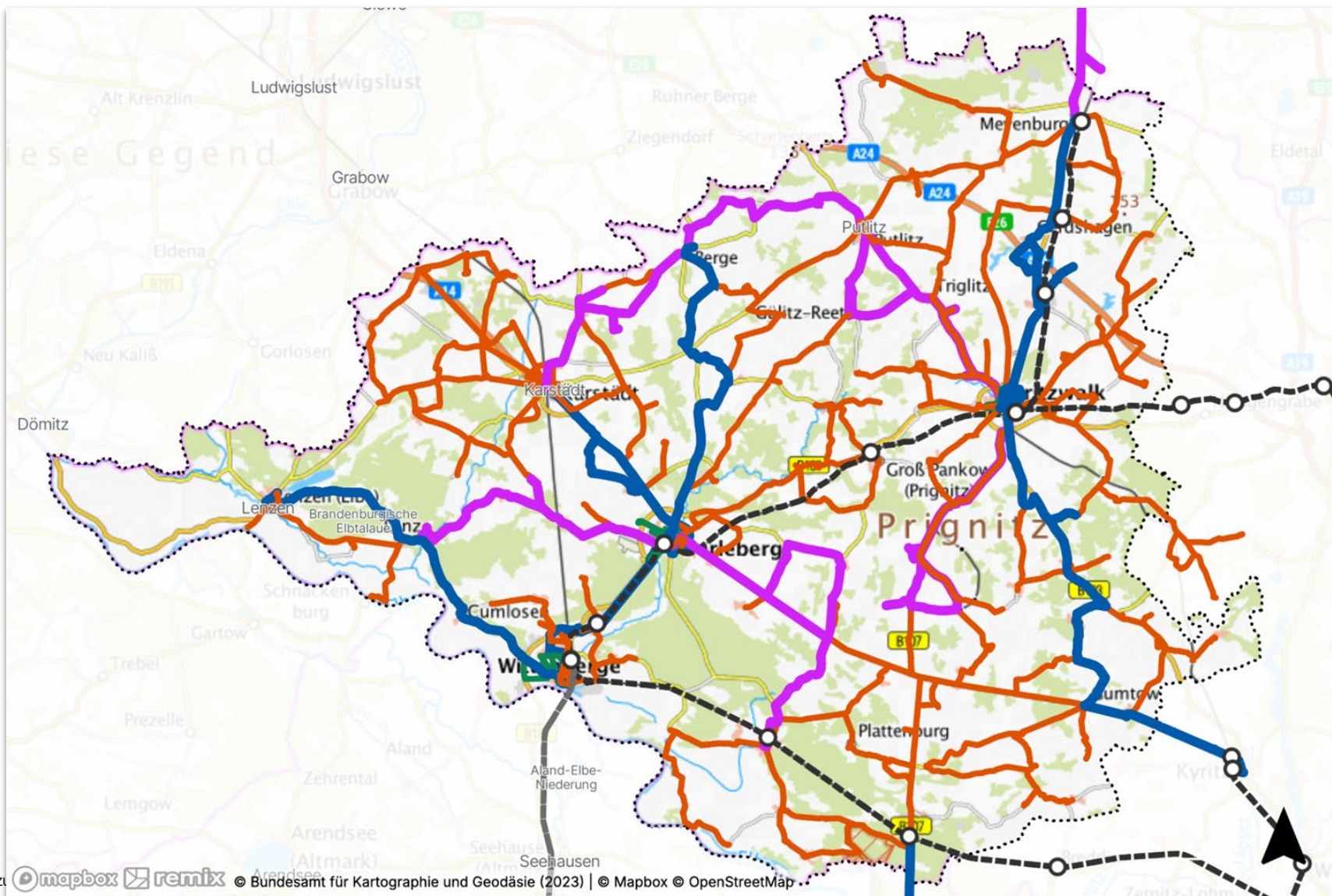
28.310 Fzg.-Stunden

114.501 Fzg.-Stunden

Backup - Remixkarten

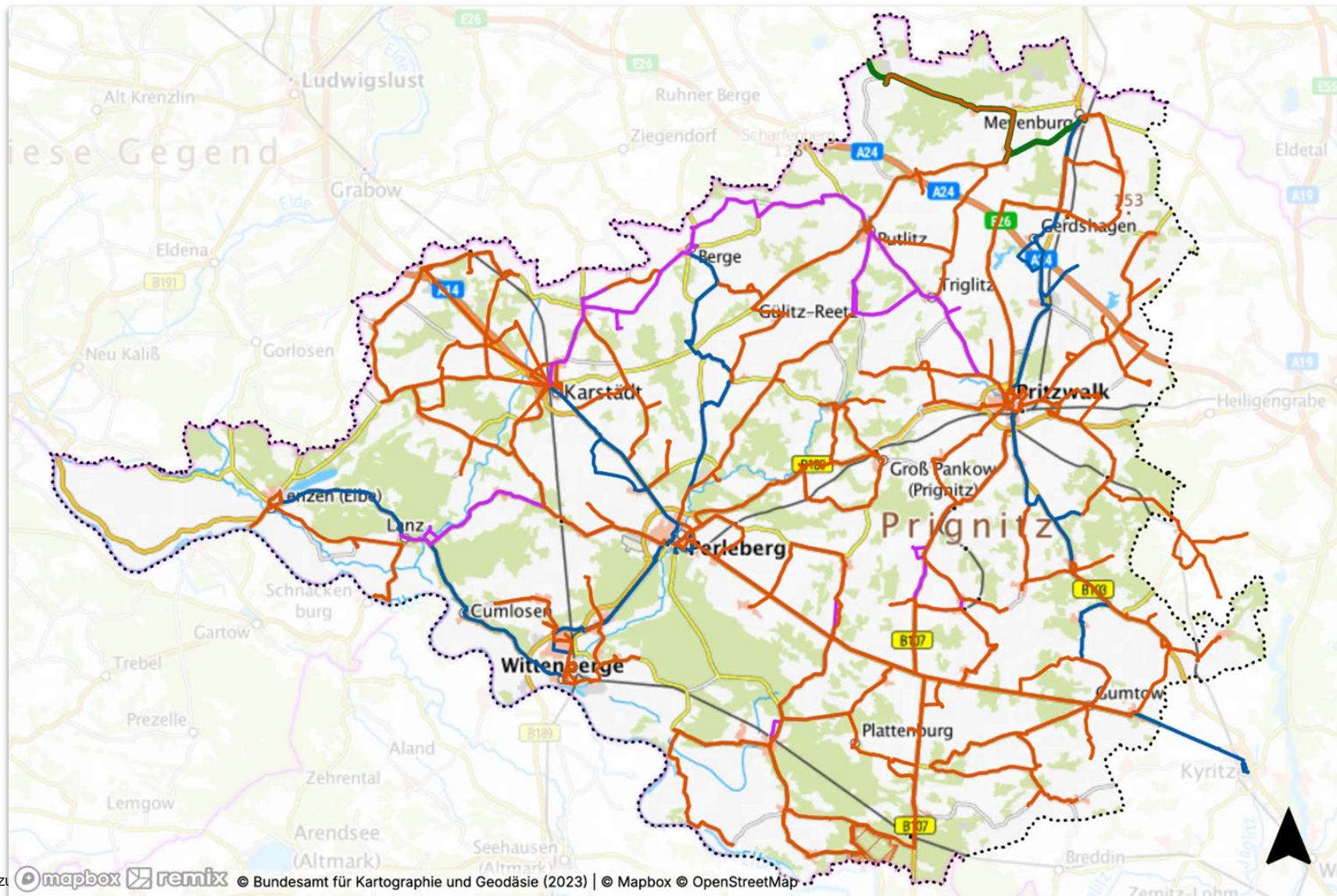
Landkreis Prignitz - Aktuelles Liniennetz

<https://eu.remix.com/project/82ce6e8d?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



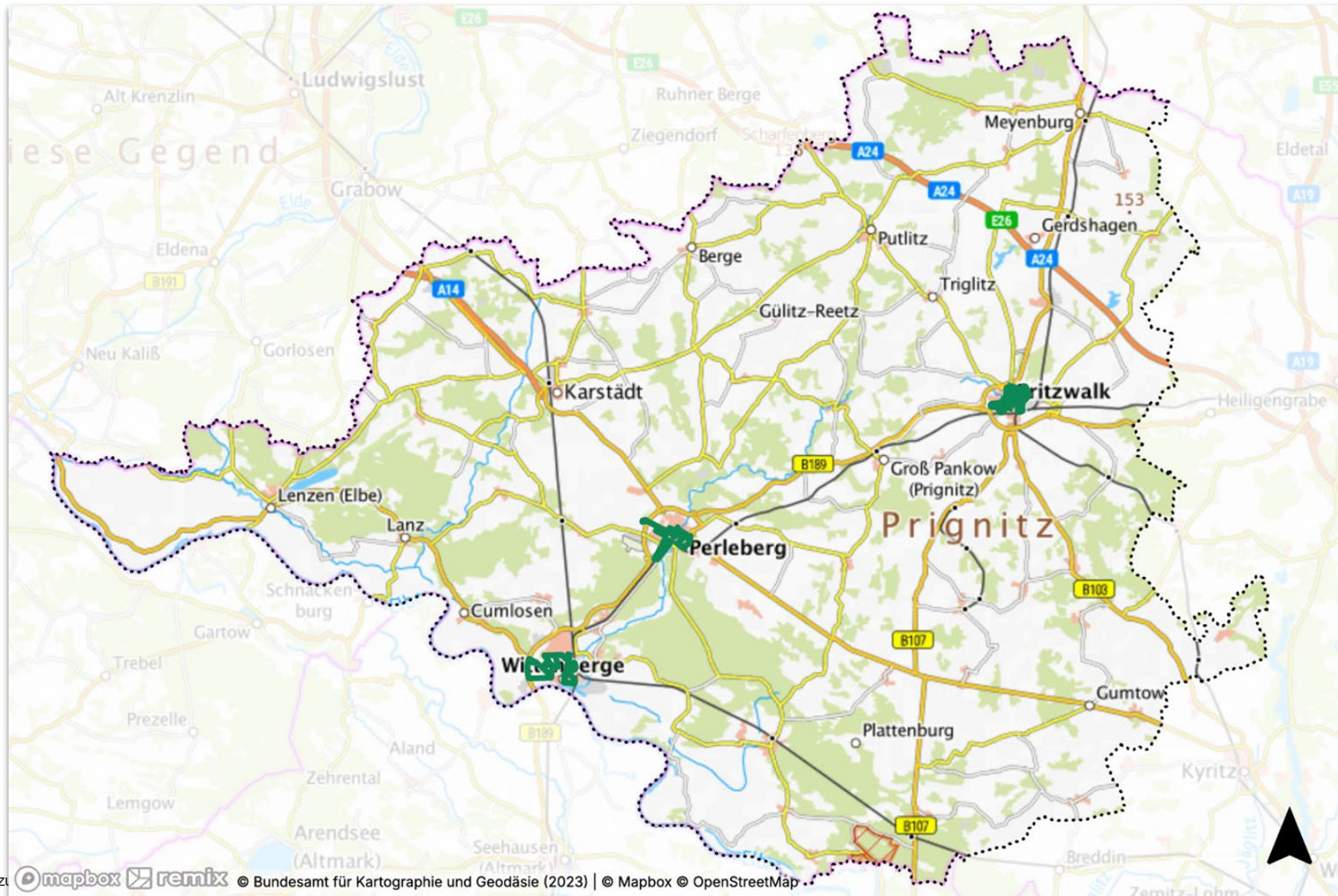
Landkreis Prignitz - Aktuelles Liniennetz - Buslinien

<https://eu.remix.com/project/30852bcf?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



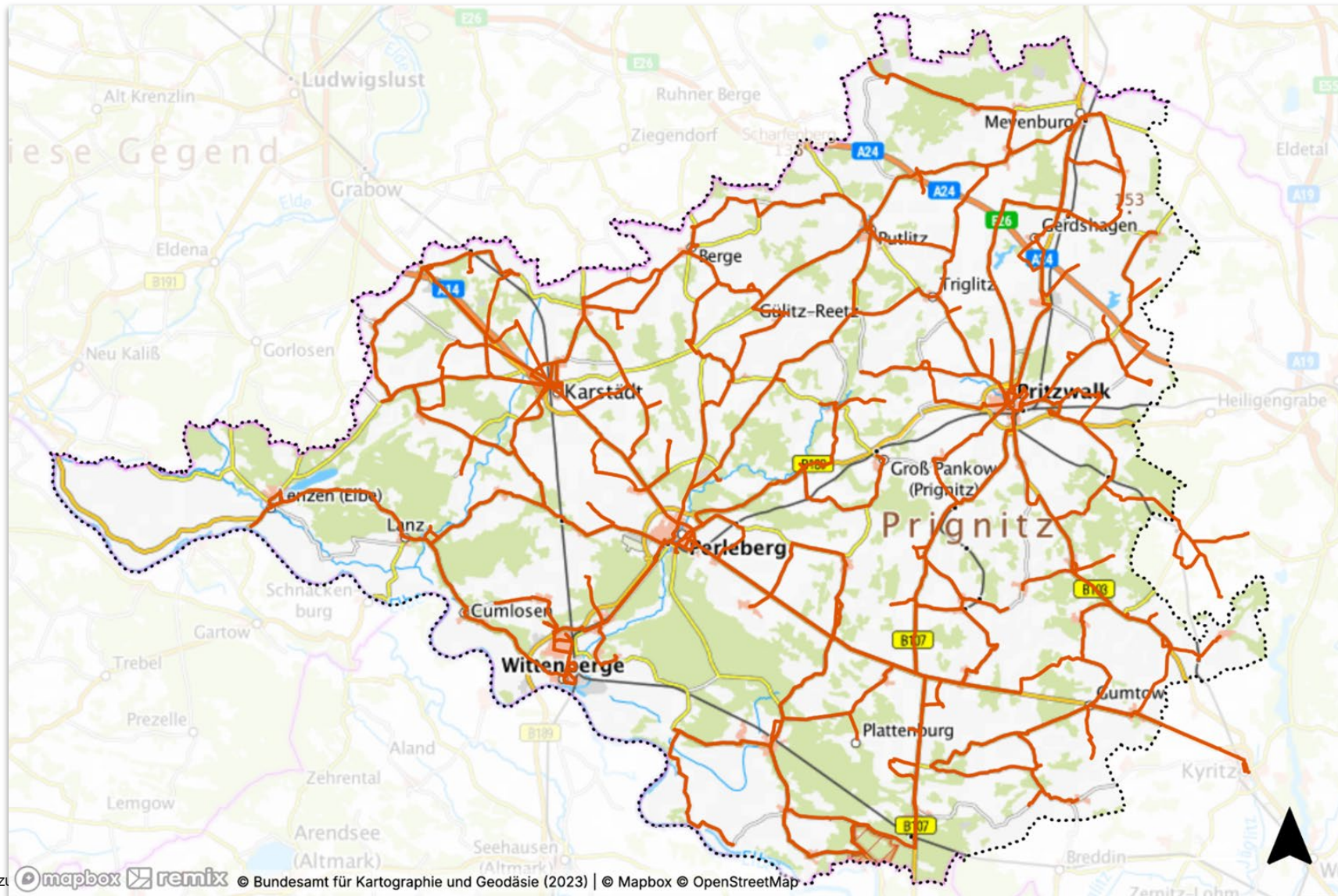
Landkreis Prignitz - Aktuelles Liniennetz - Stadtbuslinien

<https://eu.remix.com/project/c7ebd0b7?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



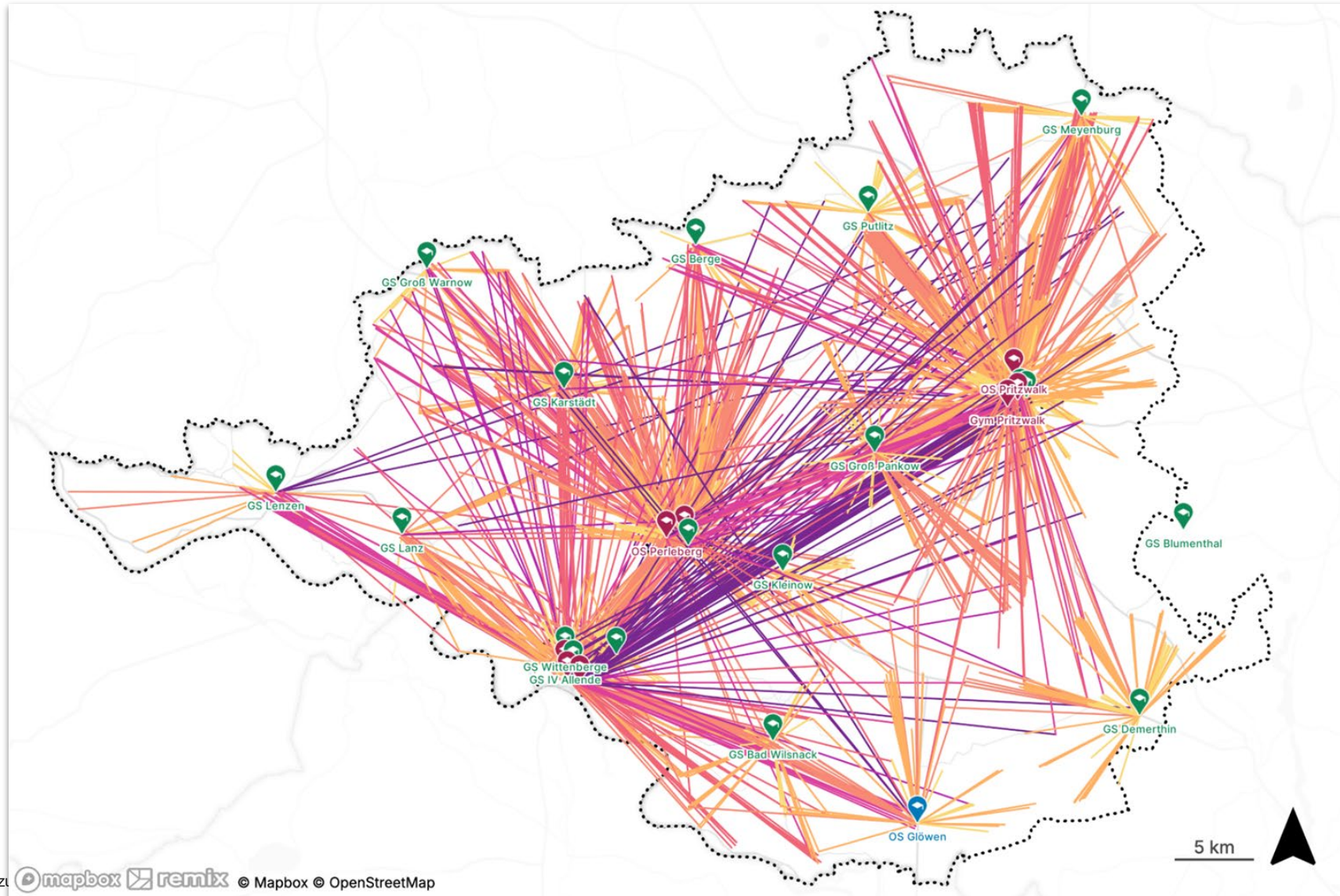
Landkreis Prignitz - Aktuelles Liniennetz - Schulverkehr

<https://eu.remix.com/project/5ee025e0?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



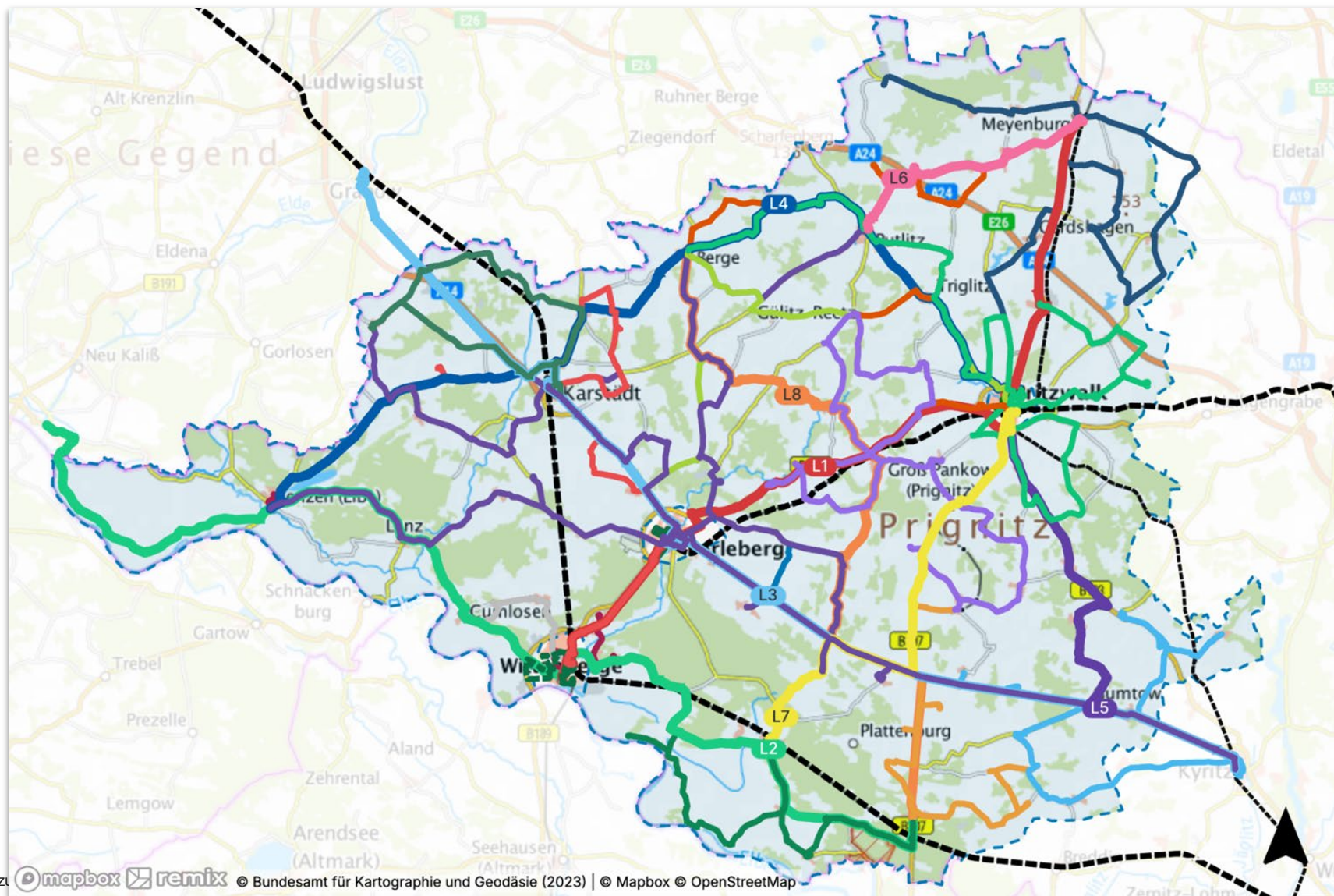
Landkreis Prignitz - Schulverkehrplanung

<https://eu.remix.com/project/f3ad0493?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



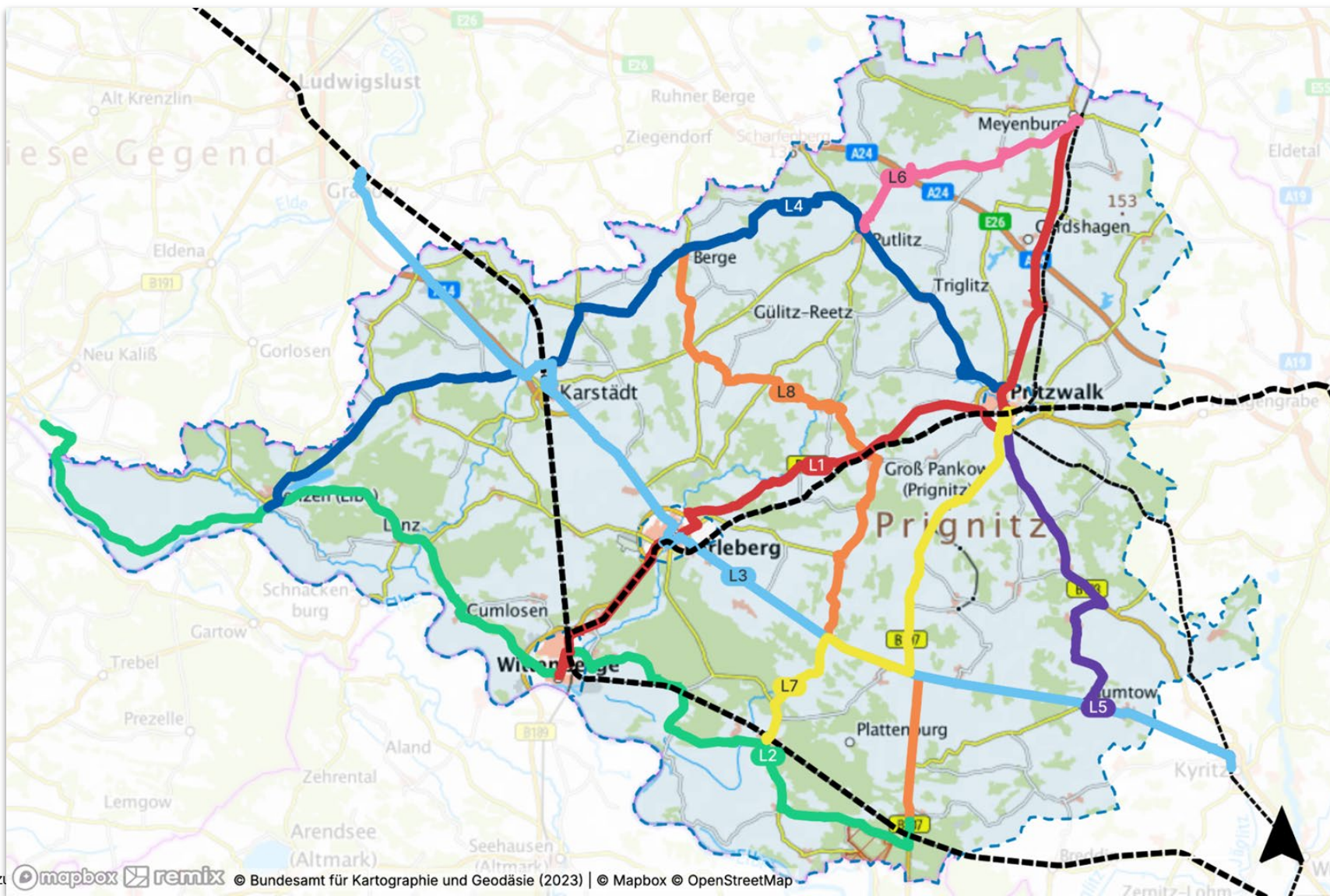
Landkreis Prignitz - ÖPNV-Liniennetz

<https://eu.remix.com/project/86dfeba5?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



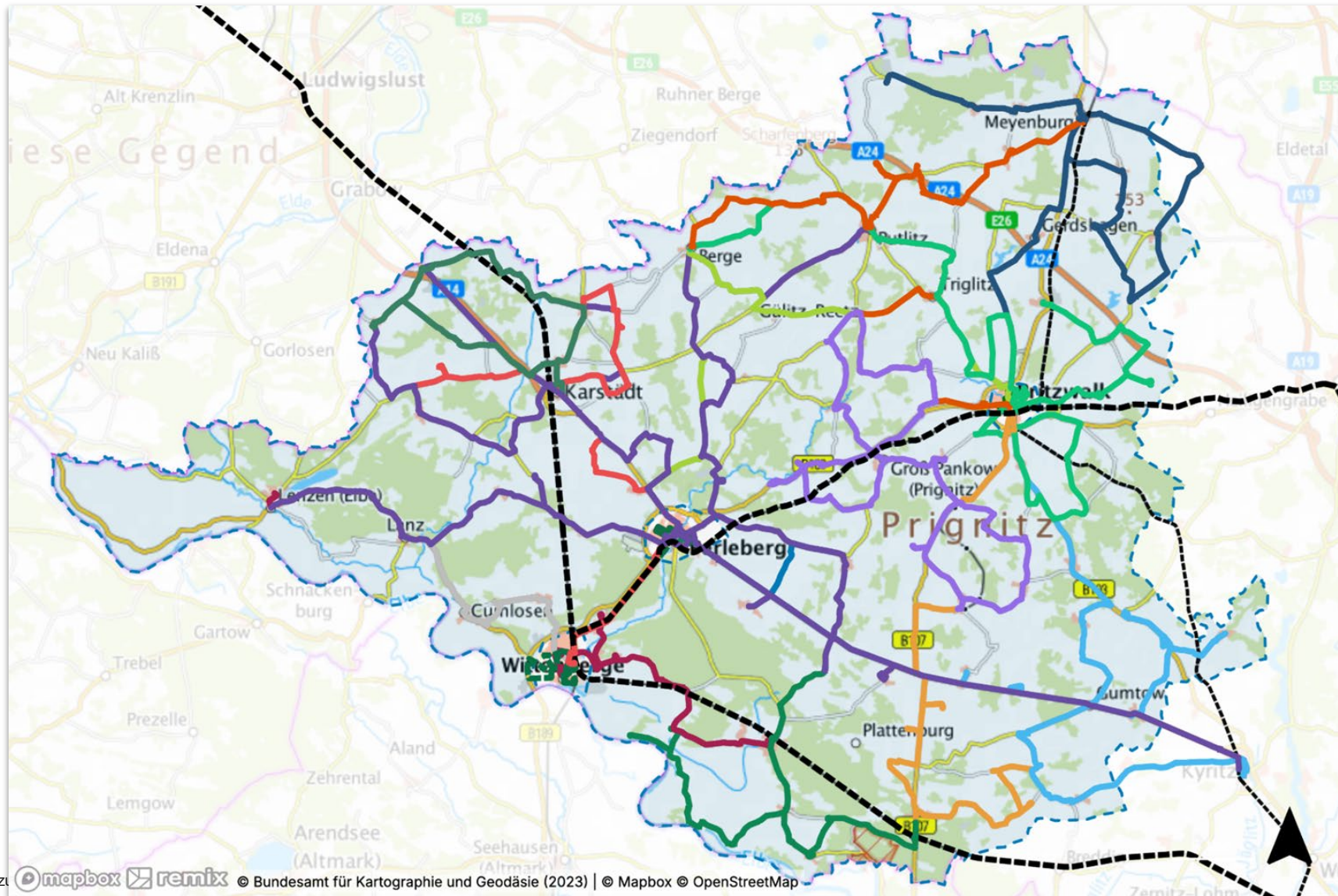
Landkreis Prignitz - ÖPNV-Liniennetz - Leistungsnetz

<https://eu.remix.com/project/f9276b29?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



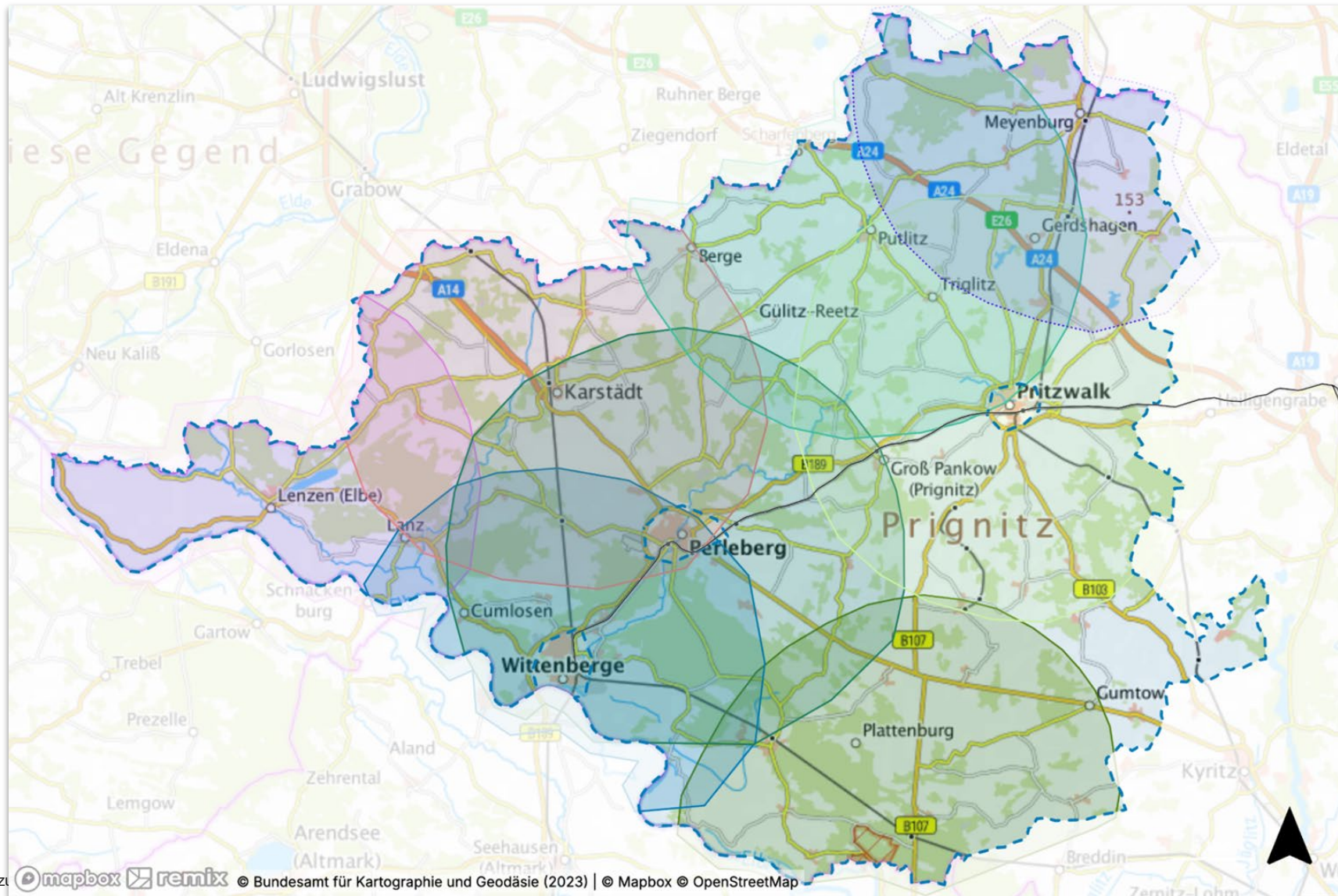
Landkreis Prignitz - ÖPNV-Liniennetz - Schulverkehr

<https://eu.remix.com/project/bbd937dd?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



Landkreis Prignitz - On-Demand-Verkehr

<https://eu.remix.com/project/11fcb0f0?latlng=53.12274,11.86017,9.296>



Backup - Fahrpläne

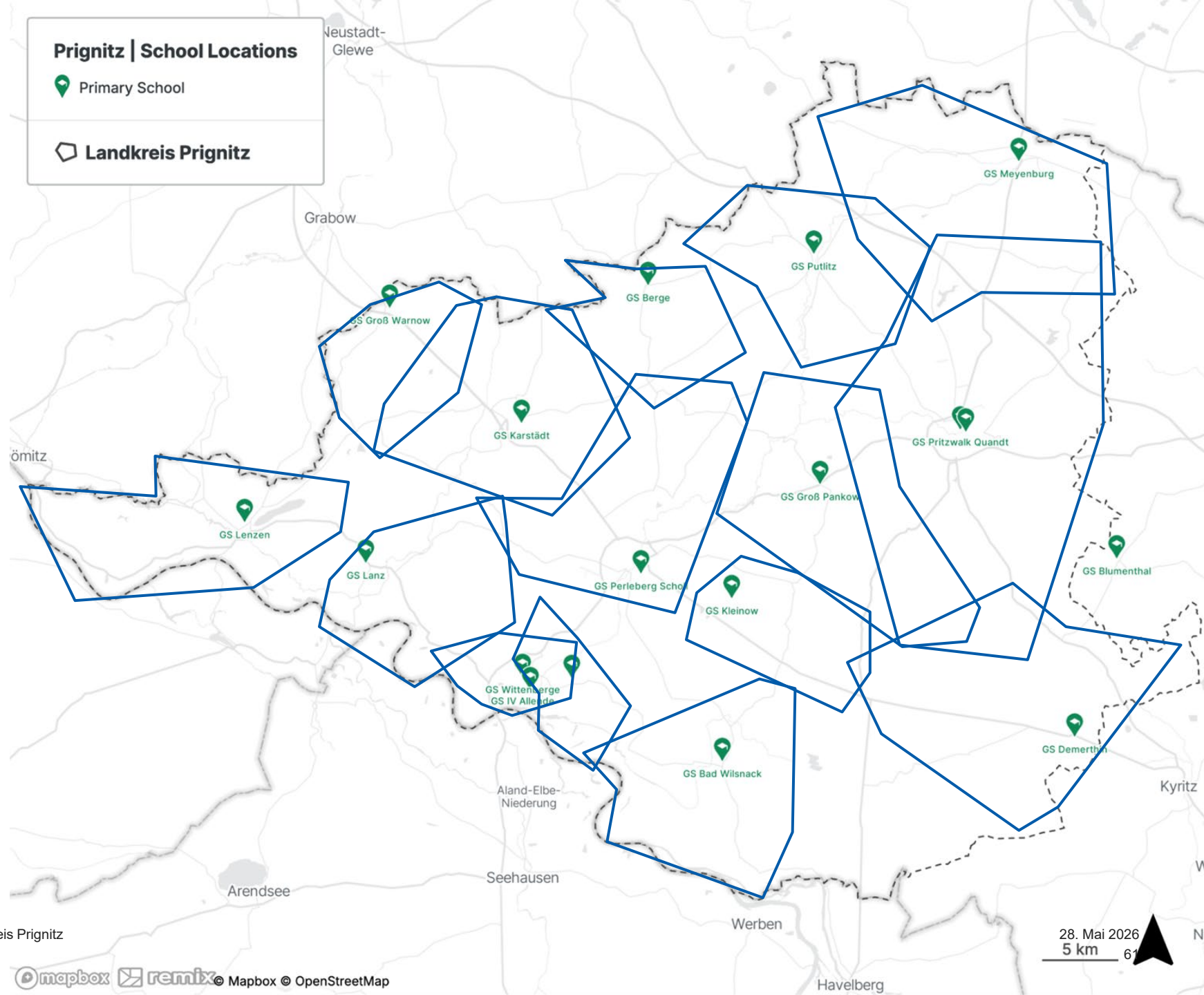
Fahrpläne aller Linien in diesem [Google Drive Ordner](#)

The image displays five overlapping screenshots of bus route timetables, each showing a list of stations and their corresponding departure and arrival times. The routes are:

- L1 - Wittenberg <-> Meyenburg**: Weekday, Inbound. Stations include Wittenberg, Dömitz, Meyenburg, and Wittenberg.
- L2 - Dömitz <-> Glöwen**: Weekday, Inbound. Stations include Dömitz, Glöwen, and Dömitz.
- L3 - Grabow <-> Kyritz**: Weekday, Inbound. Stations include Grabow, Kyritz, and Grabow.
- L4 - Lenzen <-> Pritzwalk**: Weekday, Inbound. Stations include Lenzen, Pritzwalk, and Lenzen.
- L5 - Pritzwalk <-> Kyritz**: Weekday, Inbound. Stations include Pritzwalk, Buchholz, Seefeld, Schönebeck (PR), Schönebeck (PR), Dannewalde (PR), Dannewalde (PR), Dannewalde (PR), Bärensprung, Bärensprung, Heinsdorf, Guntow, Guntow, Demerthin, Mechow, Mechow, Kähsbau, Kyritz, Kyritz, and Kyritz.

Backup - Schulverkehr


AP 1 - Backup - Schulverkehr Grundschulen



AP 1 - Backup - Schulverkehr


GS Berge


Prignitz | School Locations

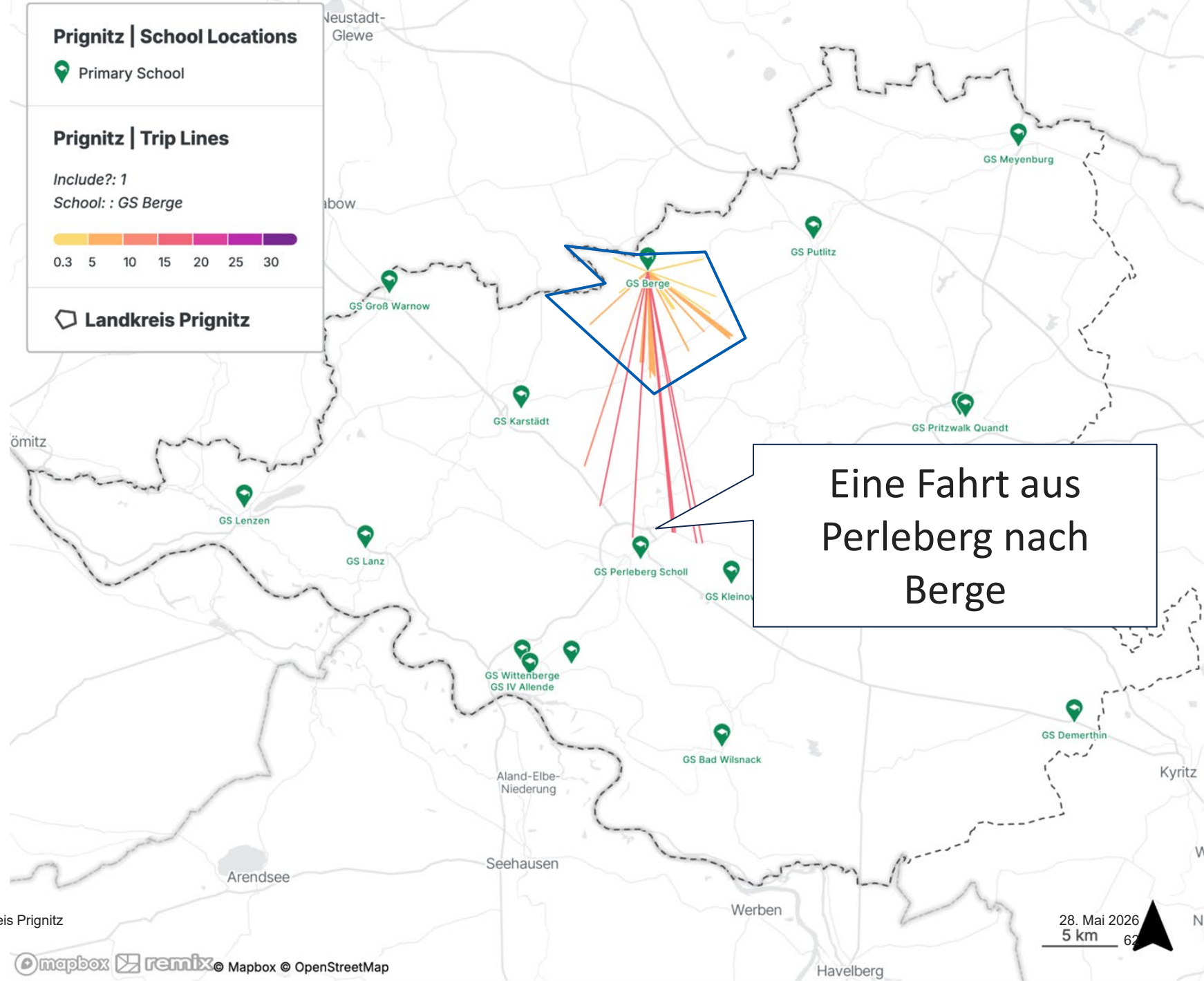
 Primary School

Prignitz | Trip Lines

Include?: 1
School: : GS Berge


0.3 5 10 15 20 25 30

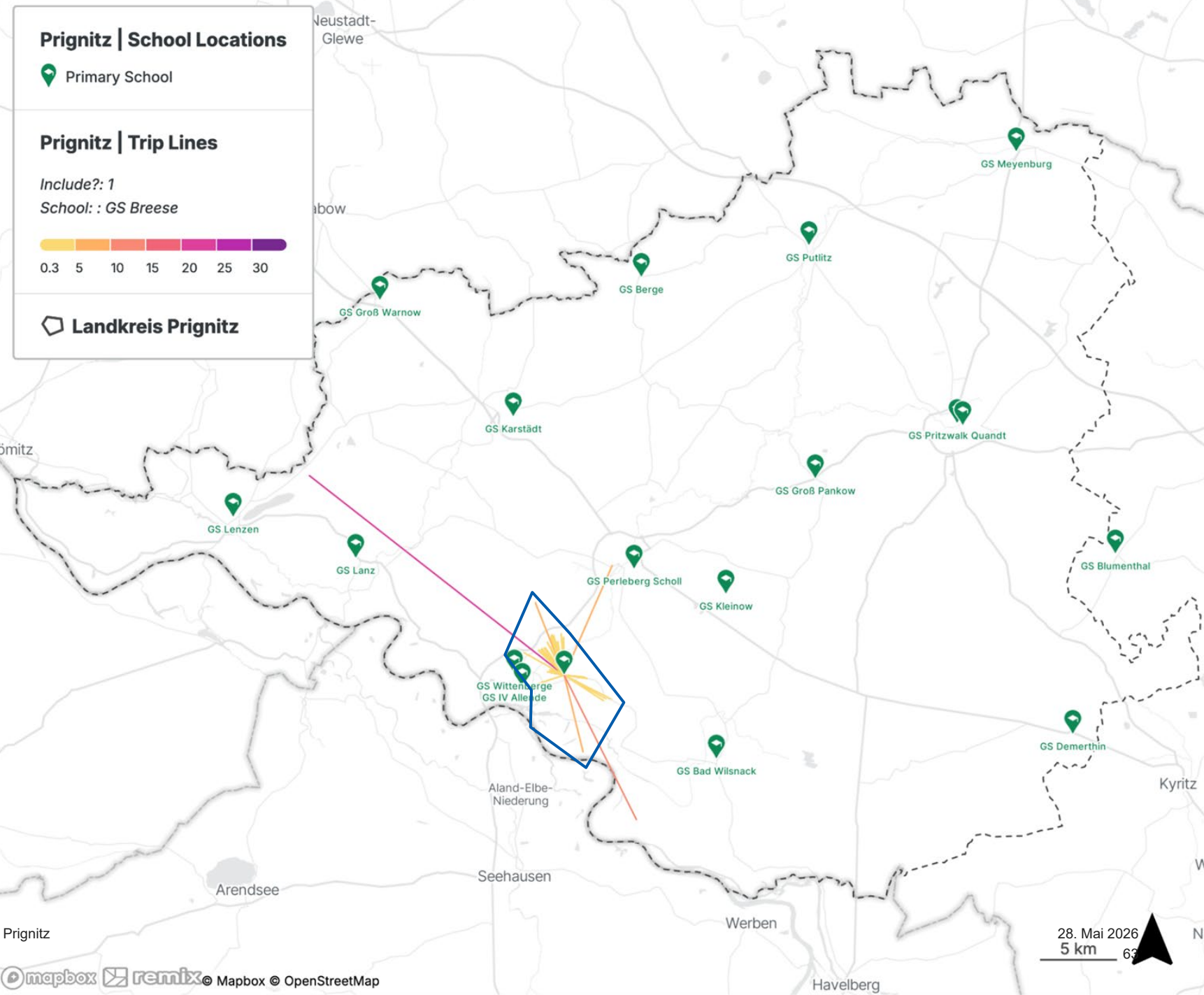
 Landkreis Prignitz



Eine Fahrt aus Perleberg nach Berge

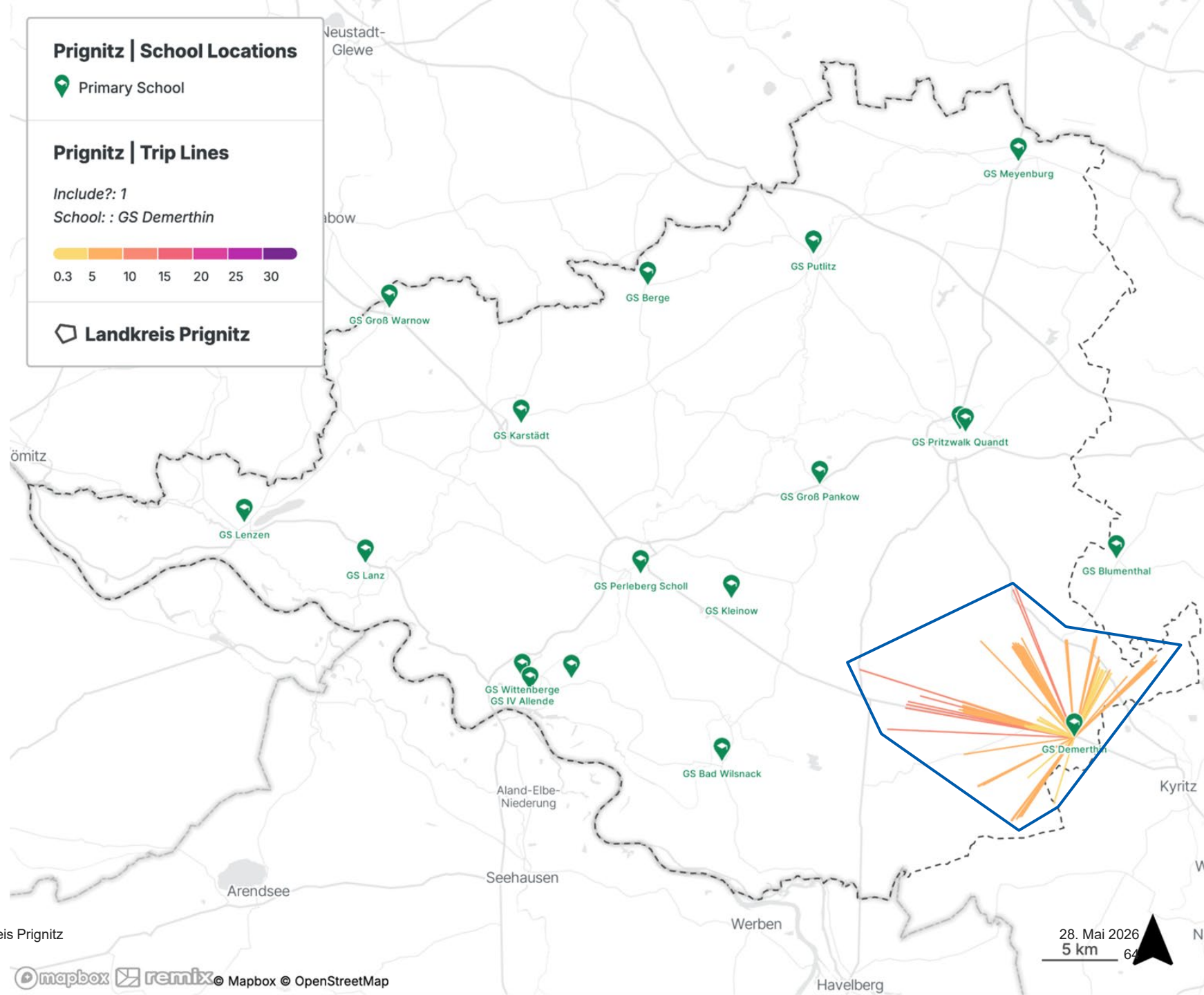
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Breese



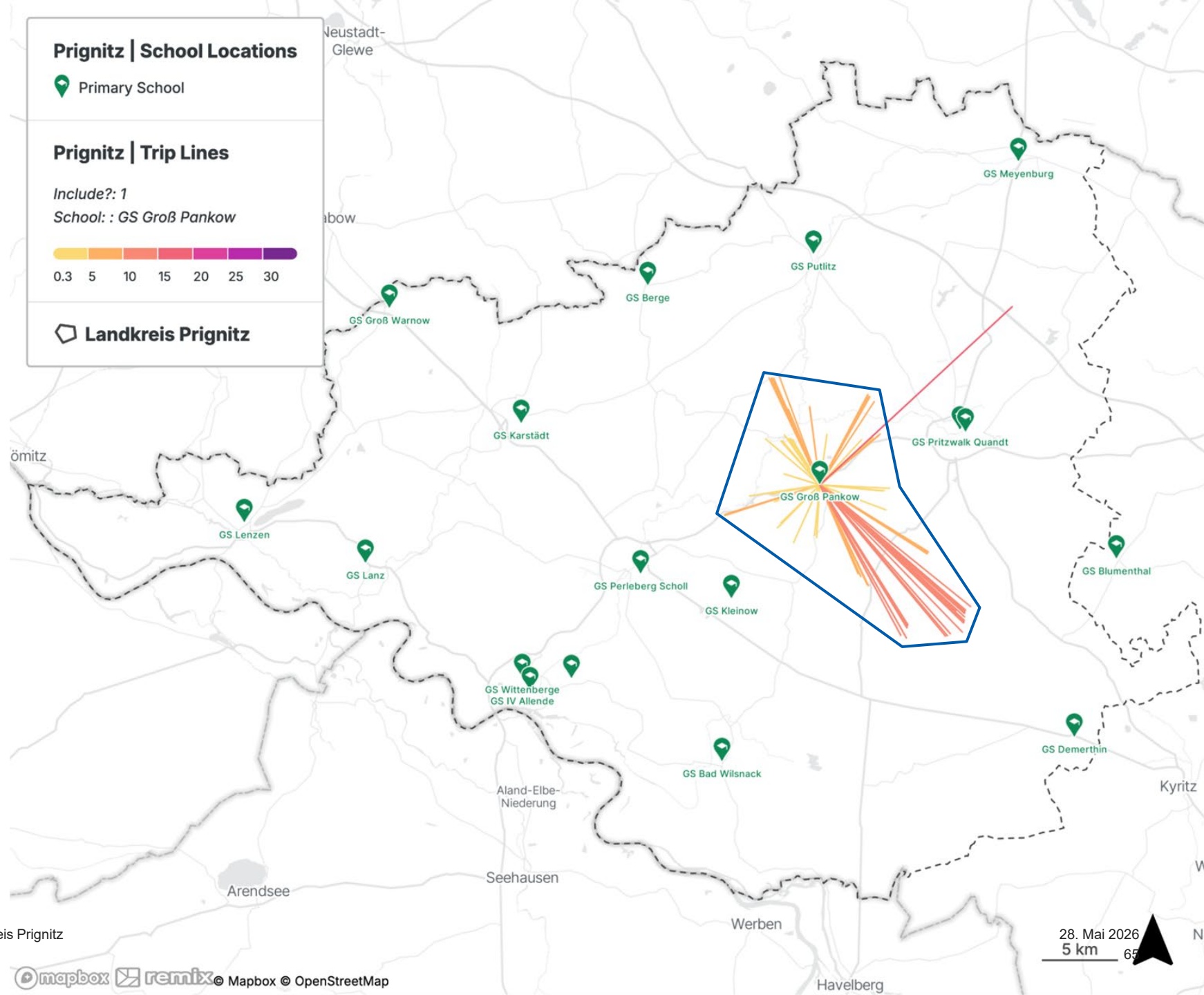
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Demerthin



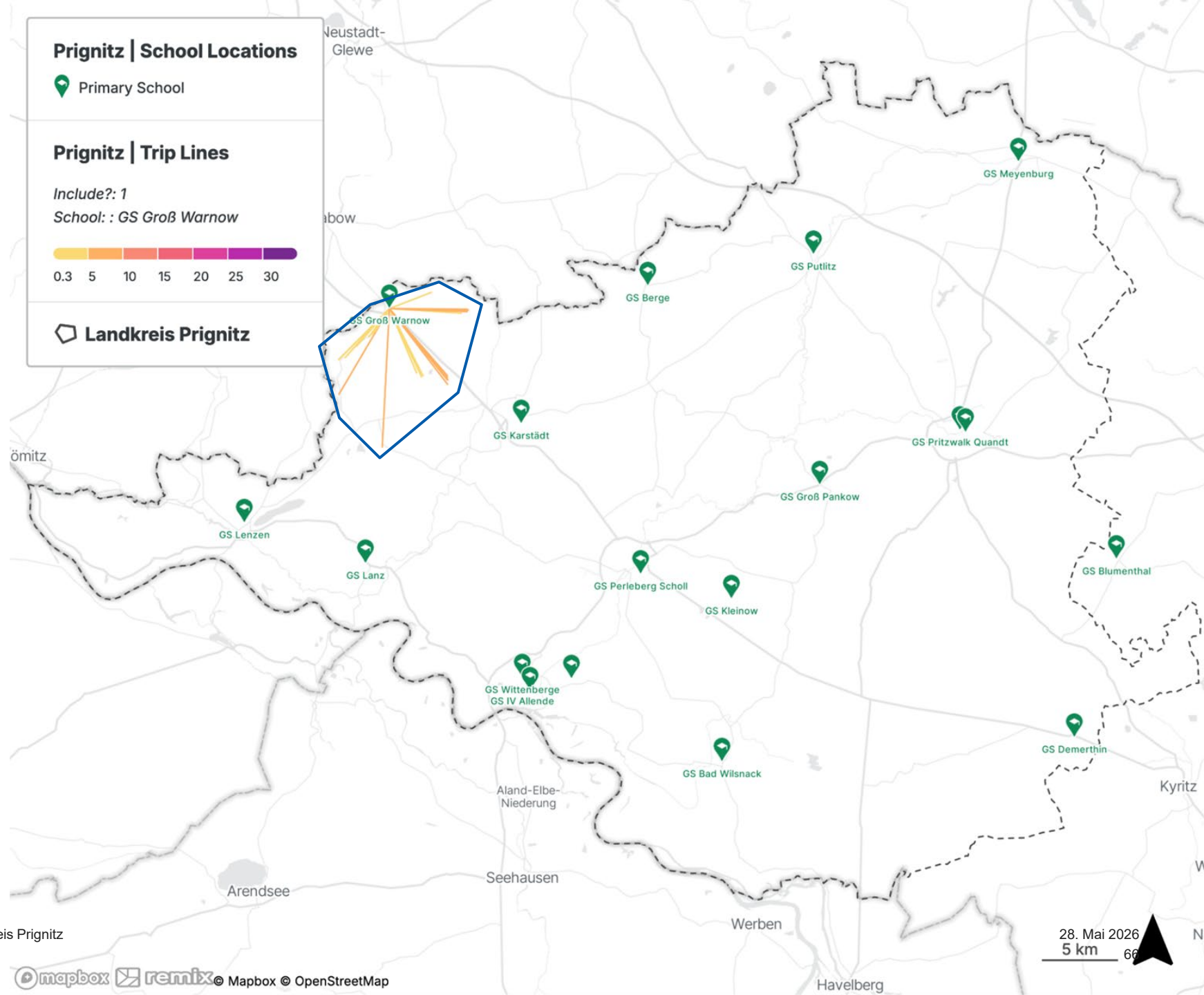
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Groß Pankow



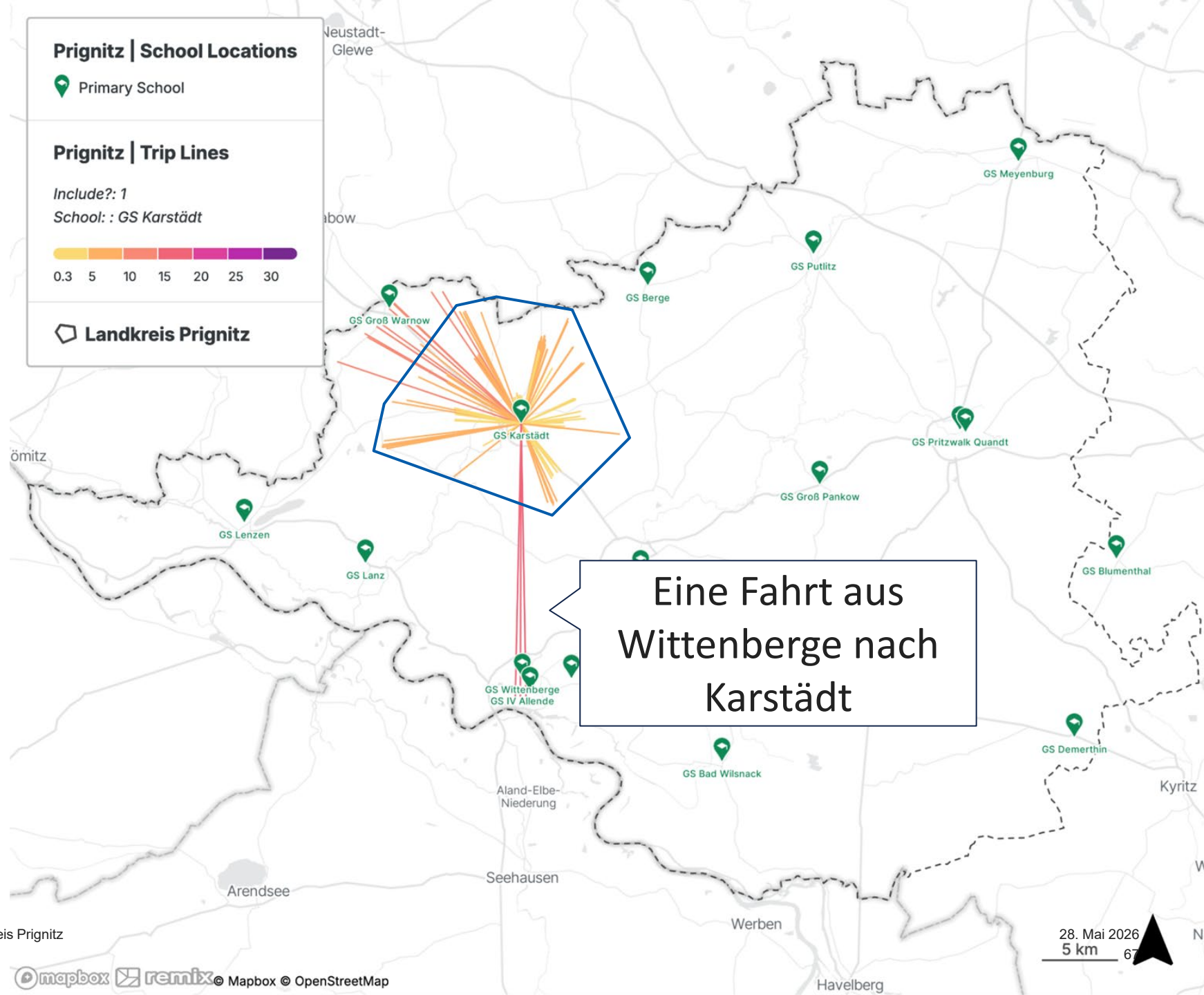
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Groß Warnow



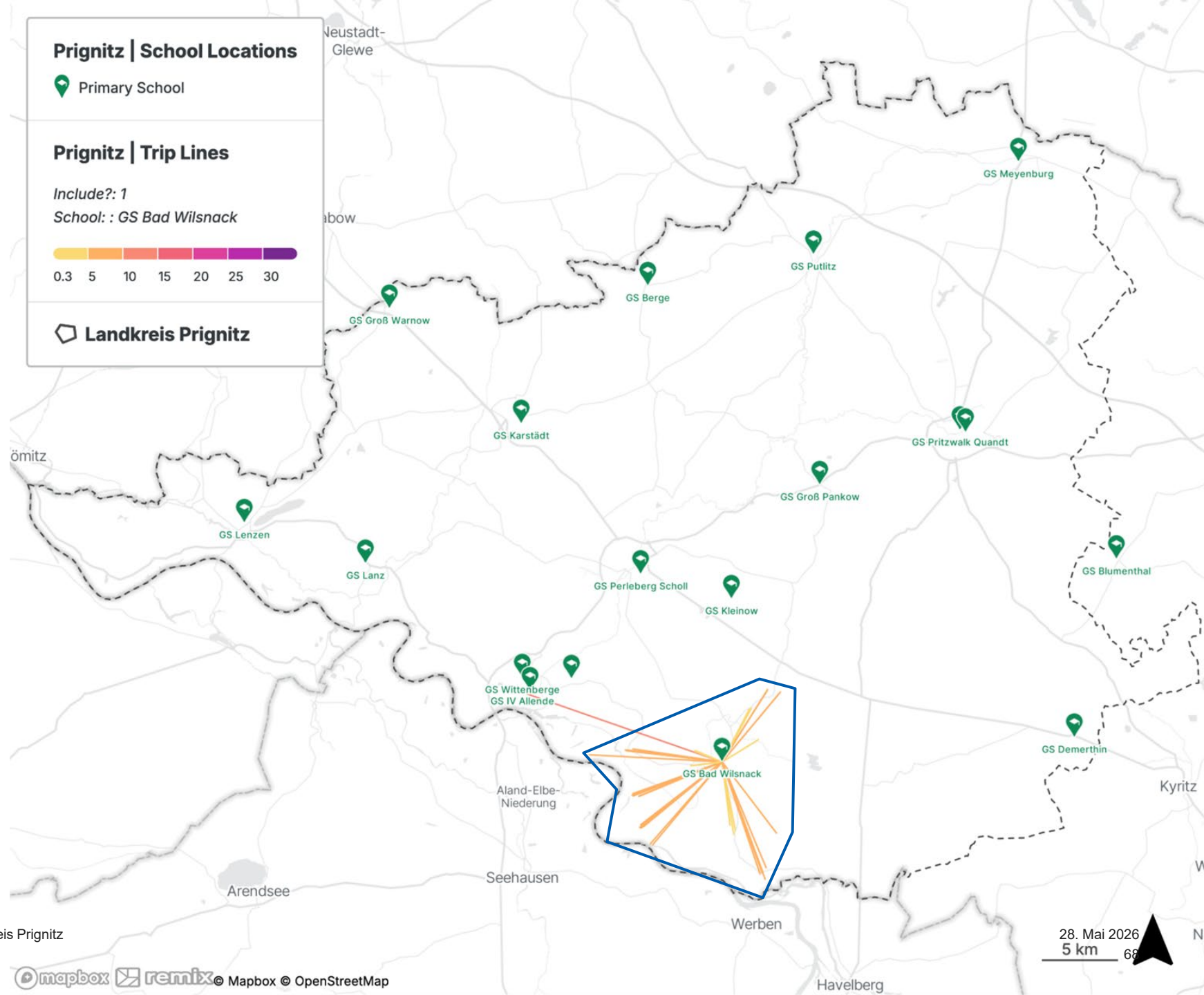
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Karstädt



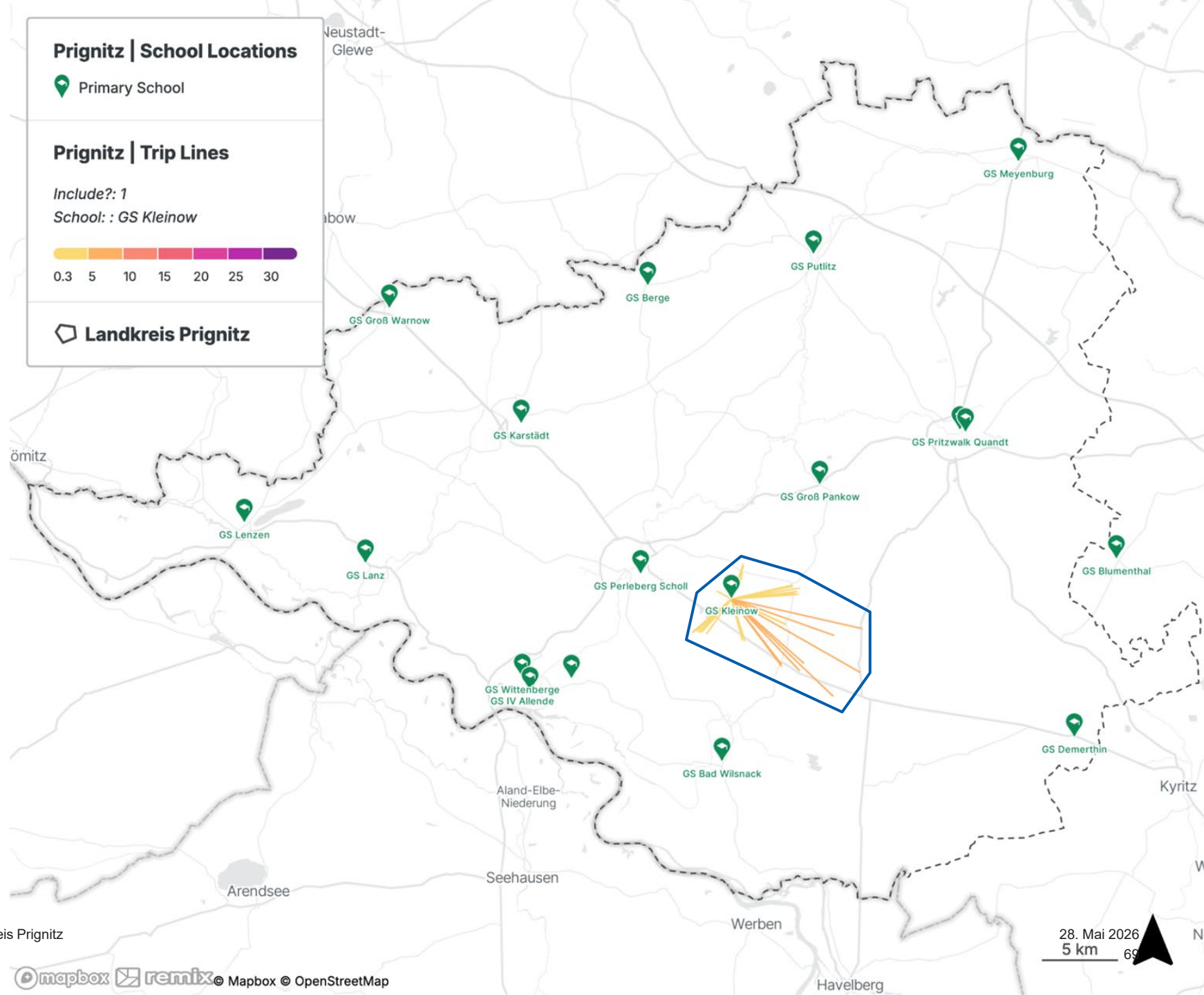
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Bad Wilsnack



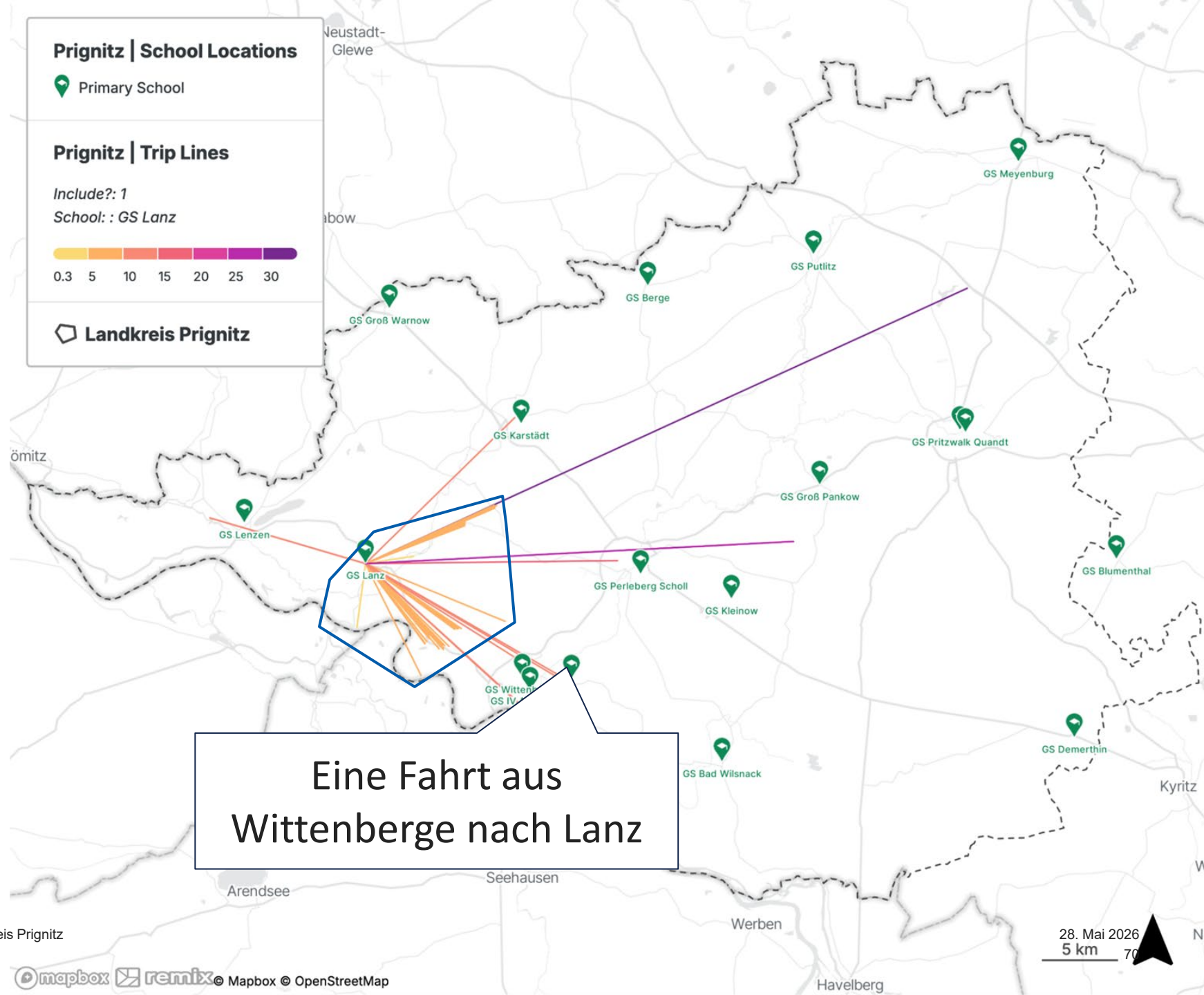
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Kleinow



AP 1 - Backup - Schulverkehr


GS Lanz



AP 1 - Backup - Schulverkehr

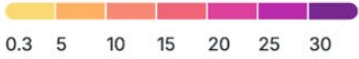
GS Meyenburg

Prignitz | School Locations


 Primary School

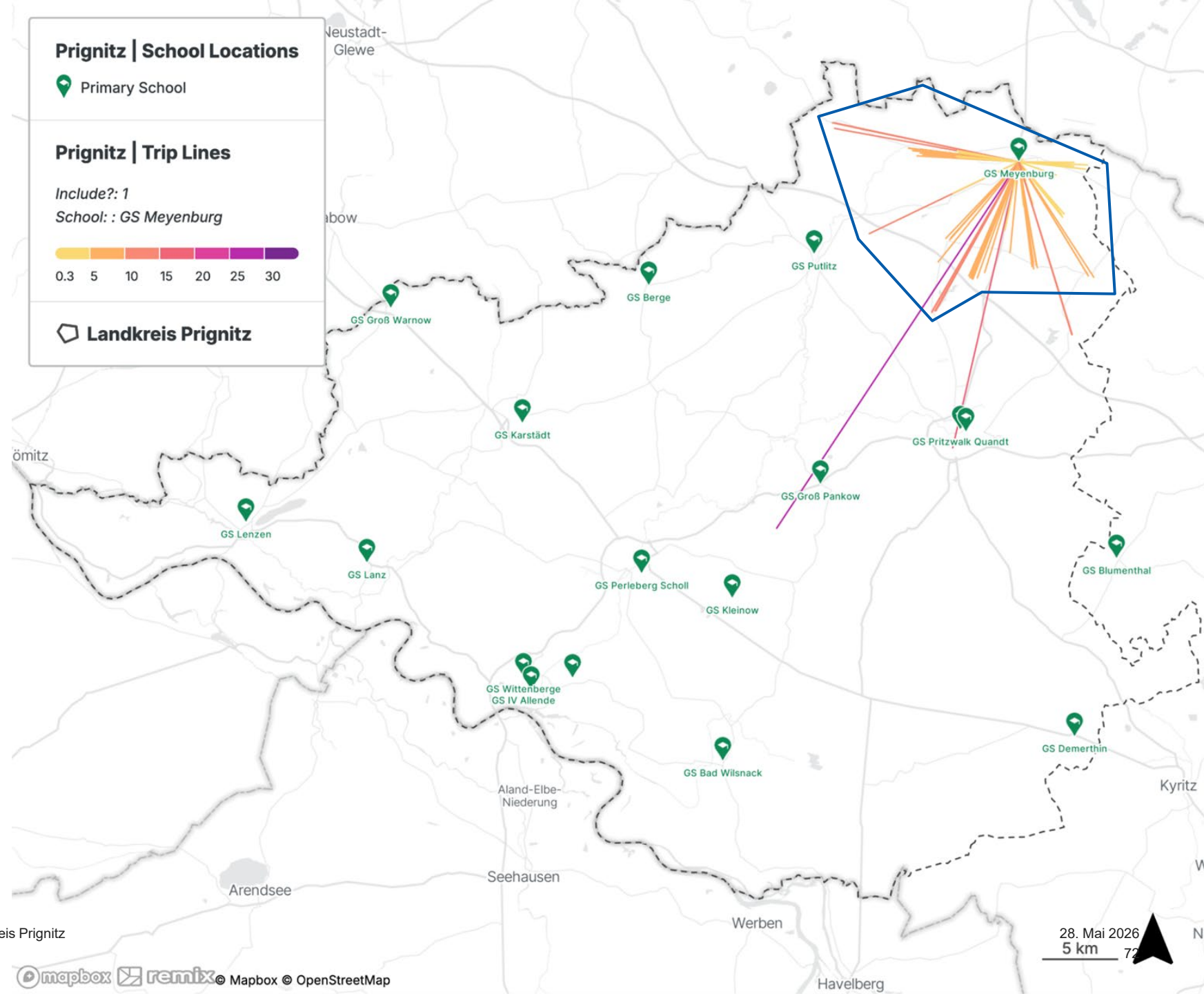
Prignitz | Trip Lines

Include?: 1
School: : GS Meyenburg



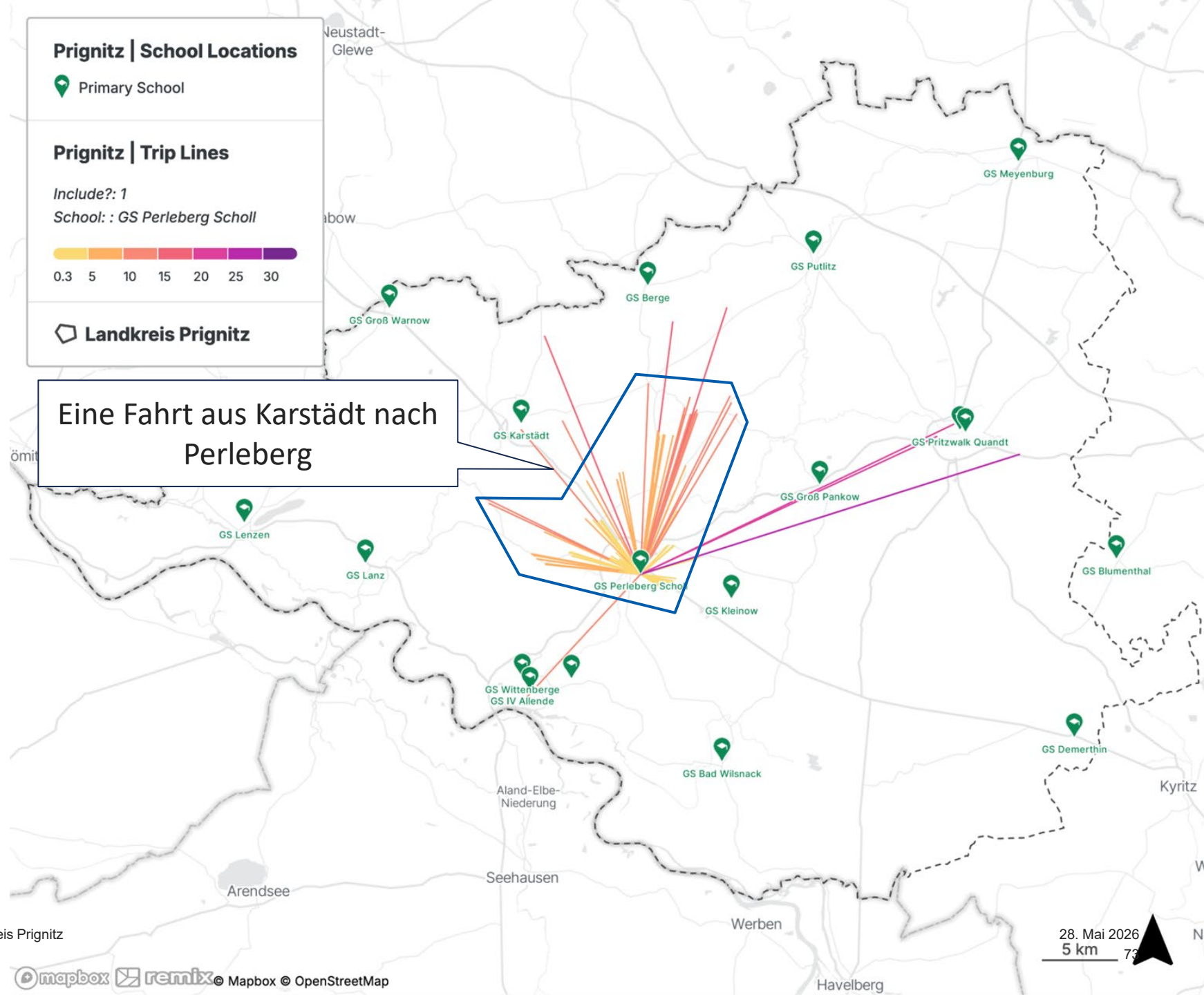
0.3 5 10 15 20 25 30

 Landkreis Prignitz



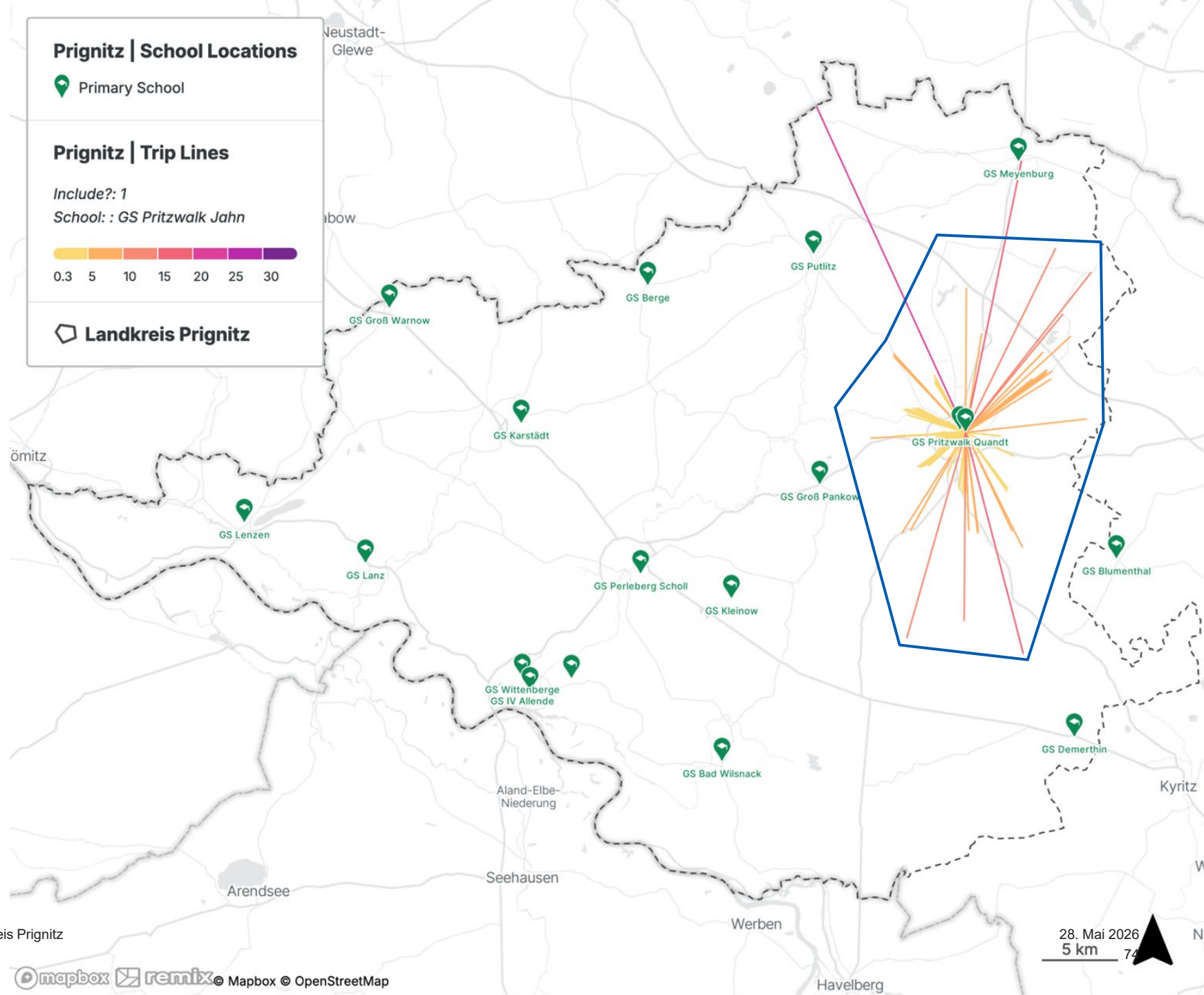
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Perleb. Scholl



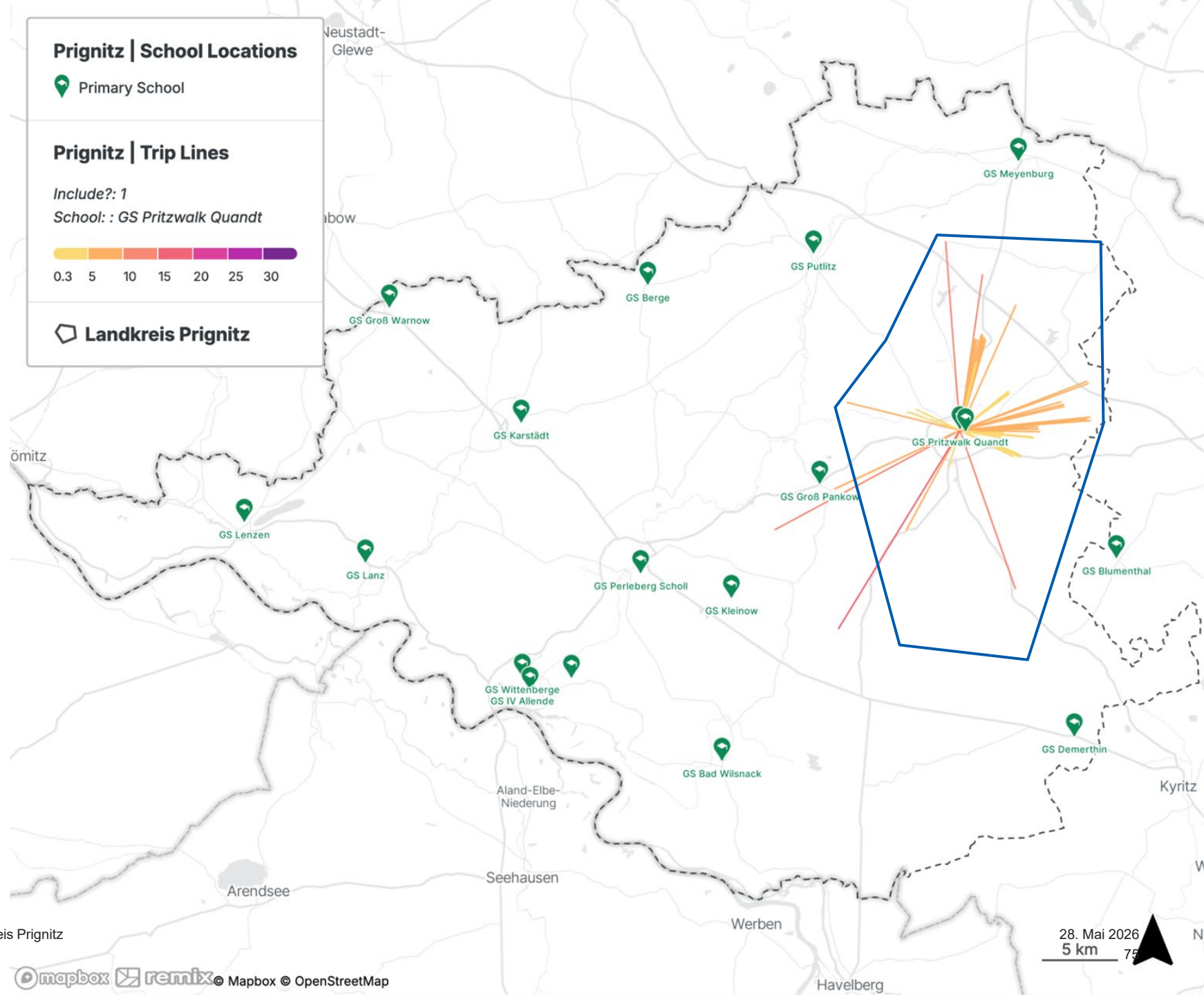
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Pritzw. Jahn



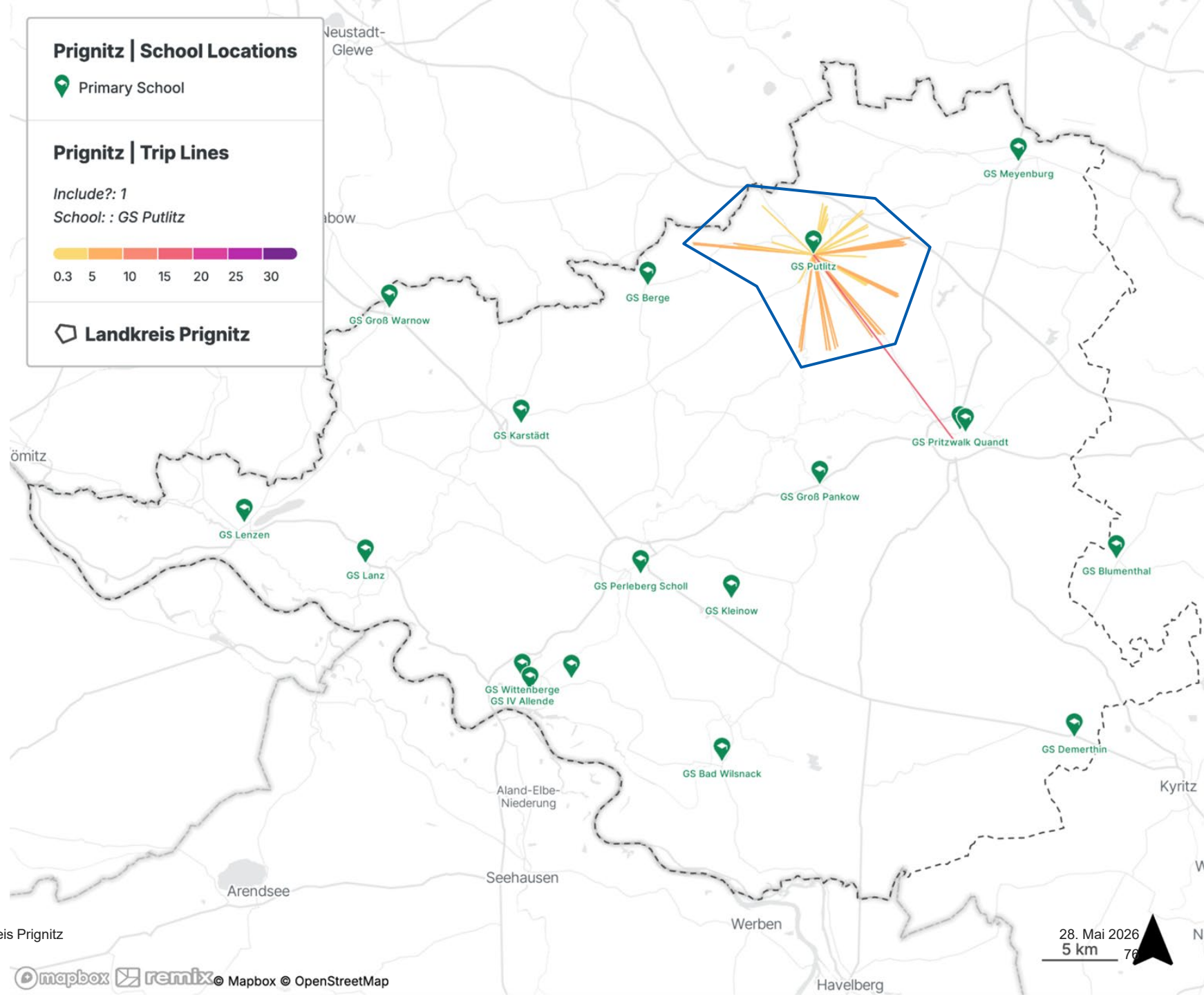
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Pritzw. Quandt



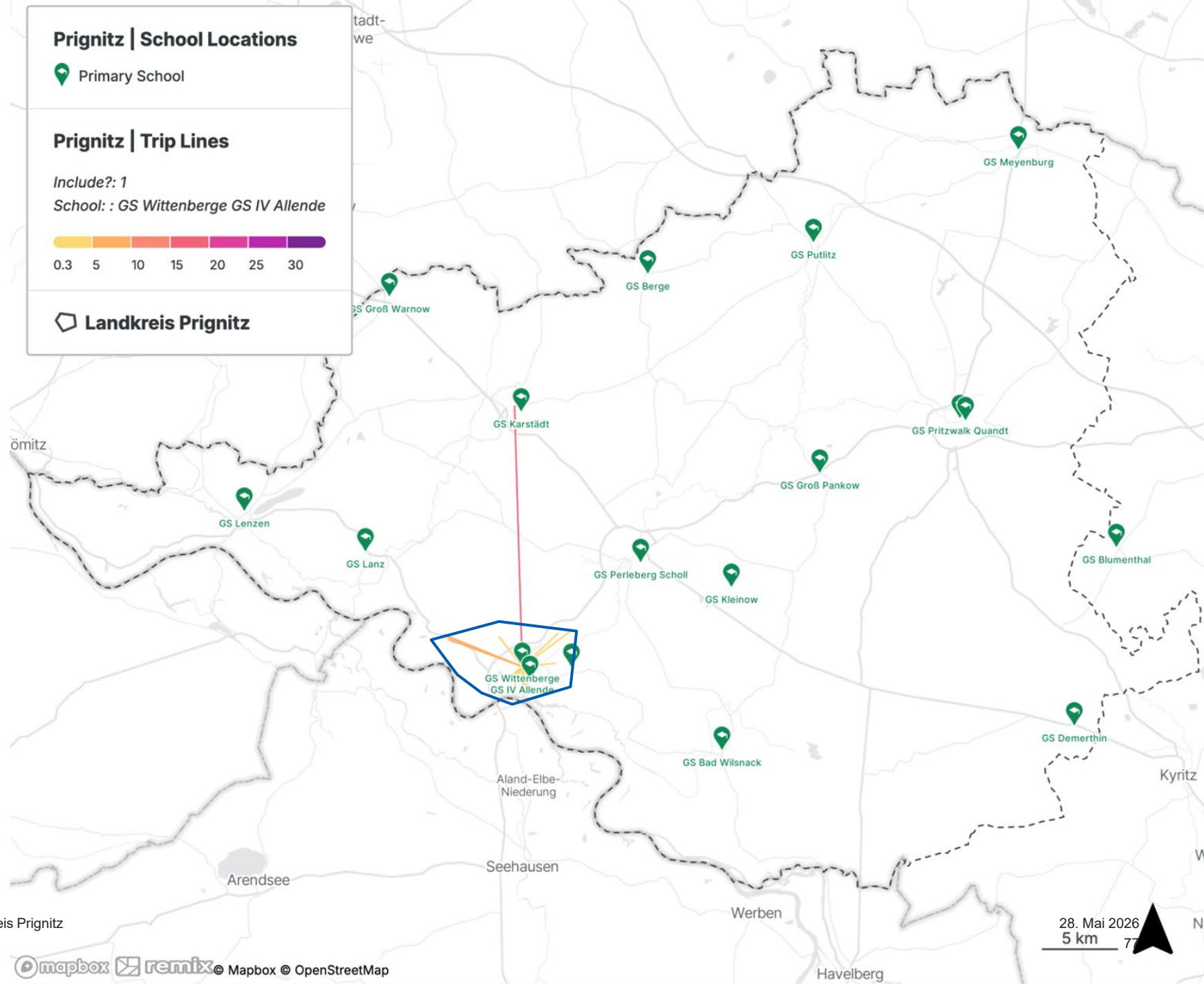
AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Putlitz

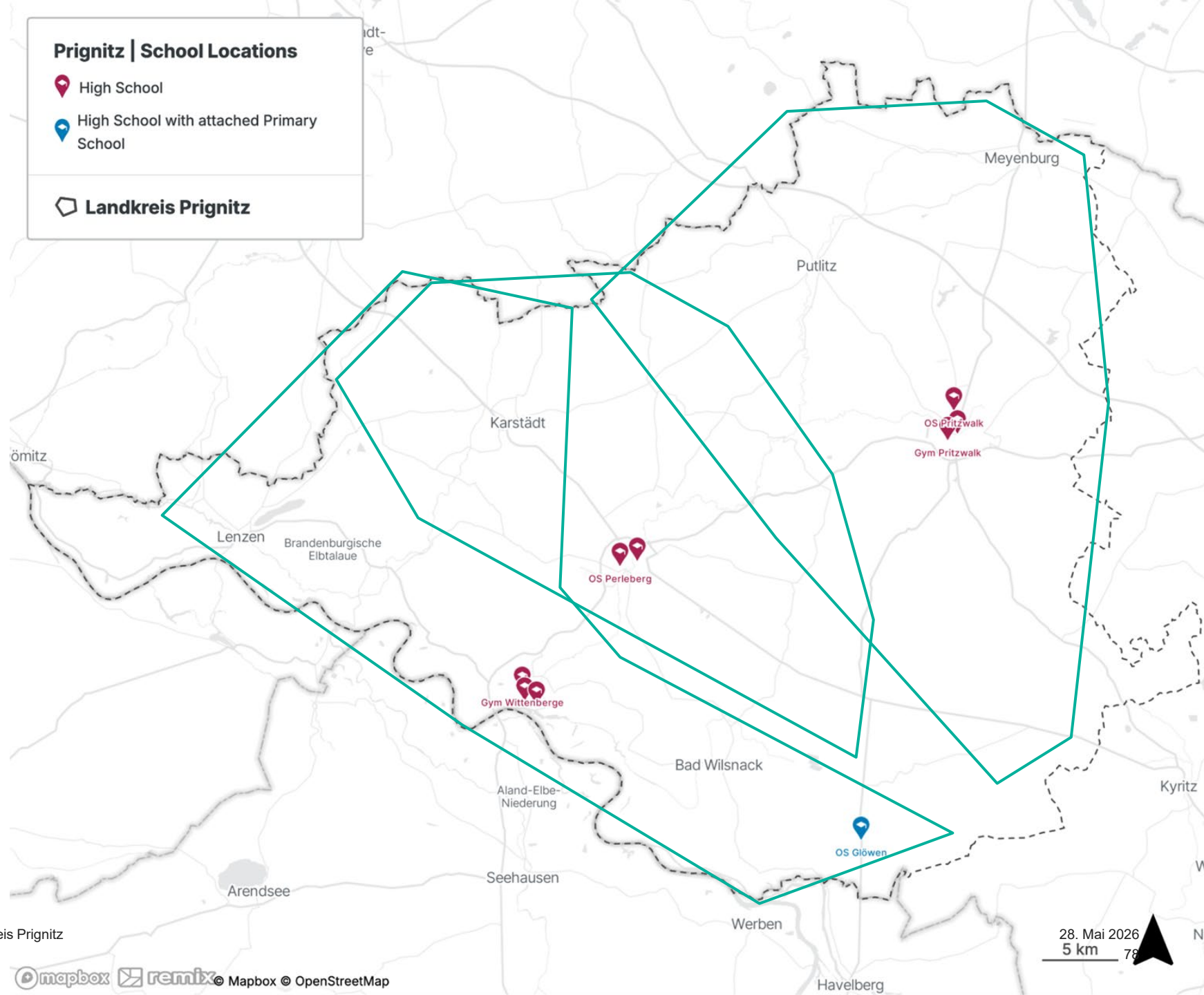


AP 1 - Backup - Schulverkehr

GS Wittenb. IV

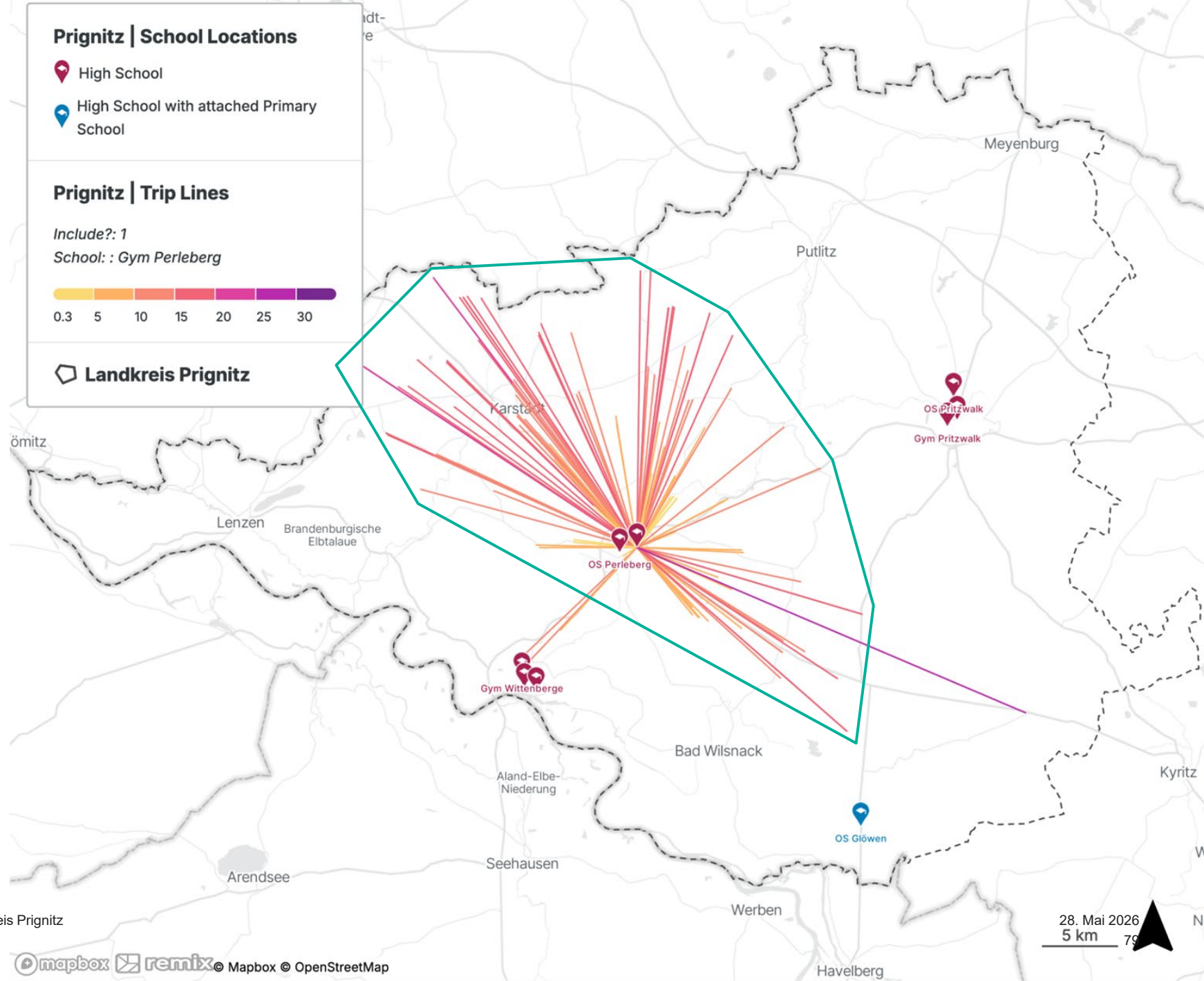


AP 1 - Backup - Schulverkehr Gymnasien



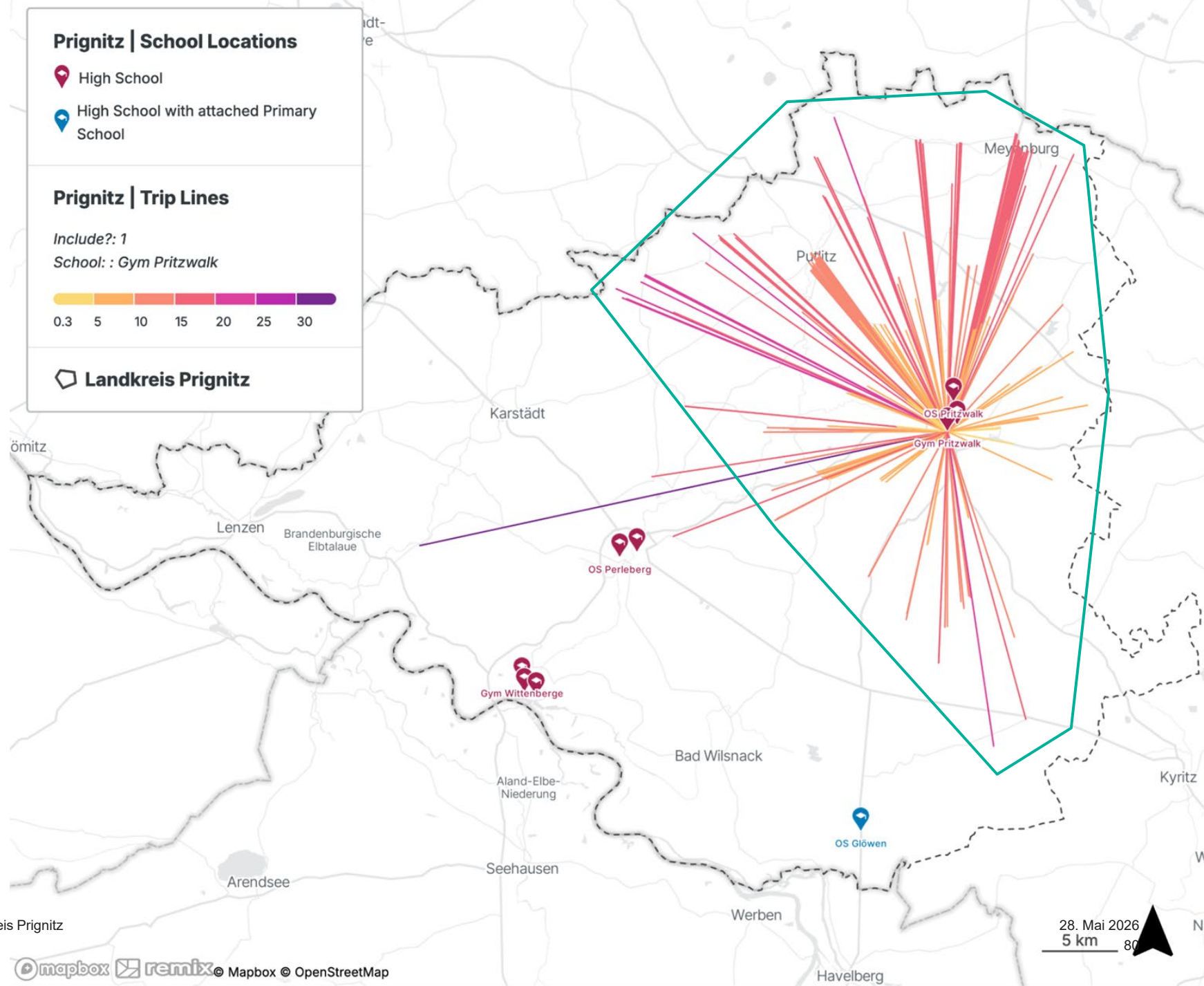
AP 1 - Backup - Schulverkehr

Gym Perleberg

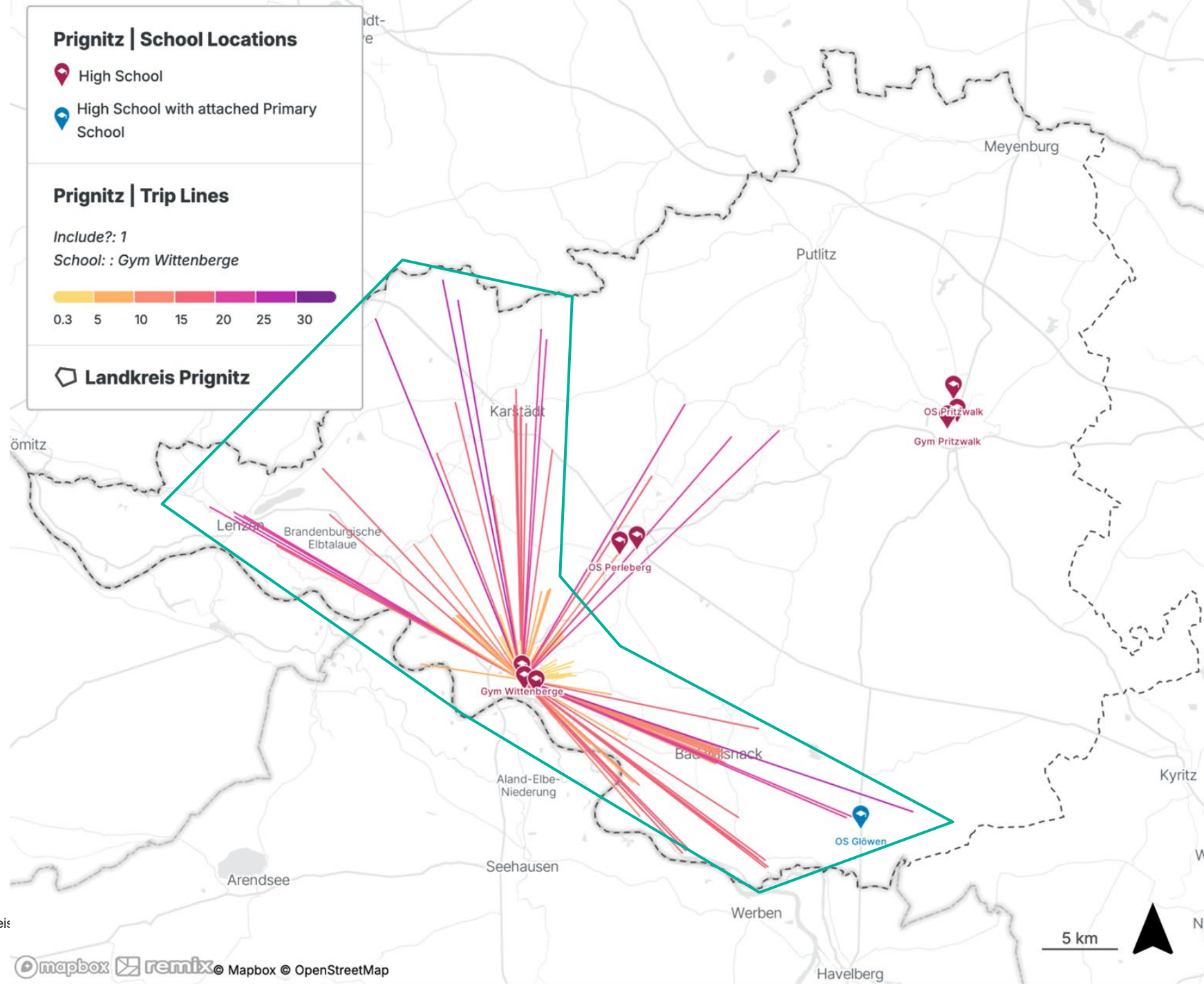


AP 1 - Backup - Schulverkehr

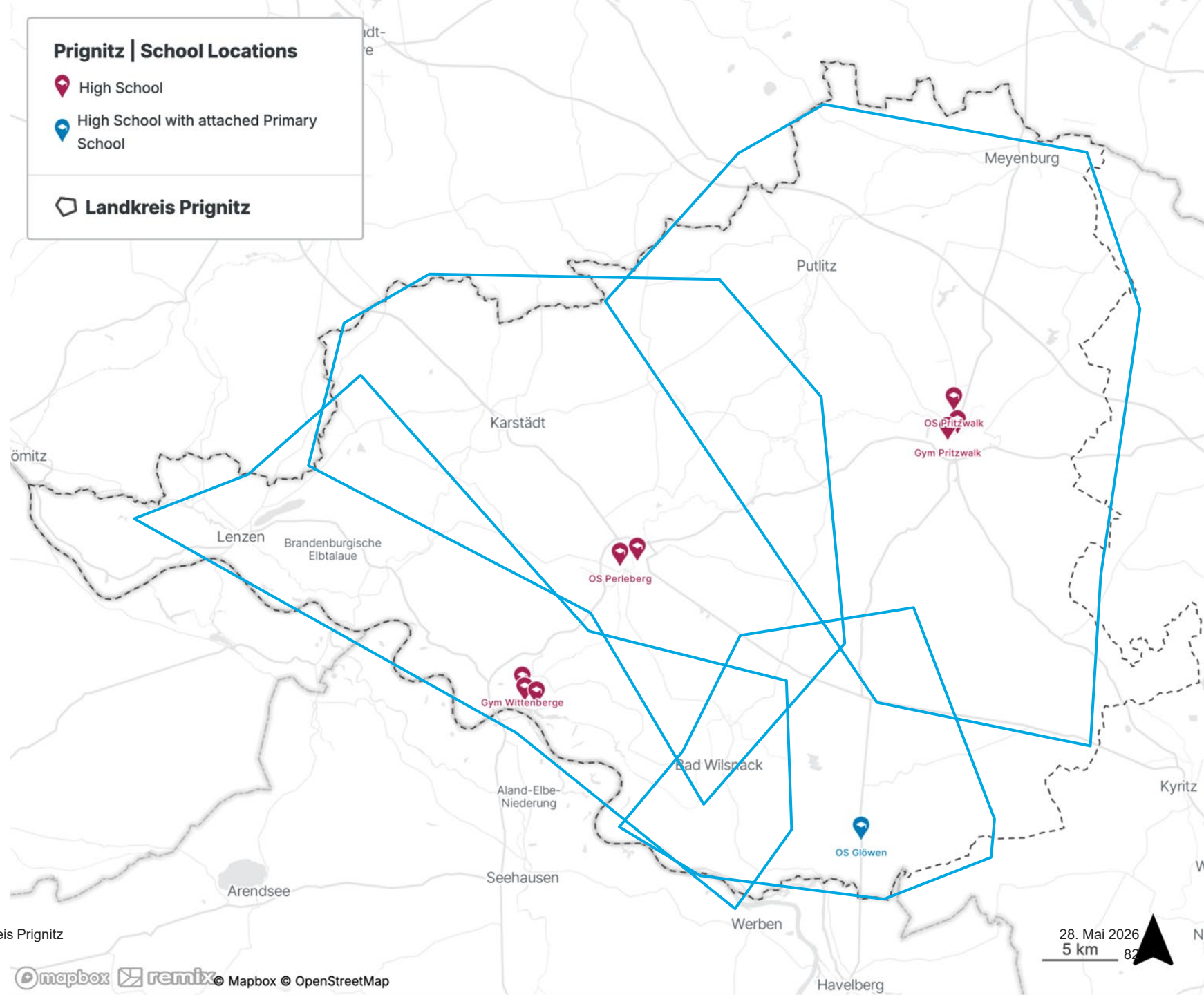
Gym Pritzwalk



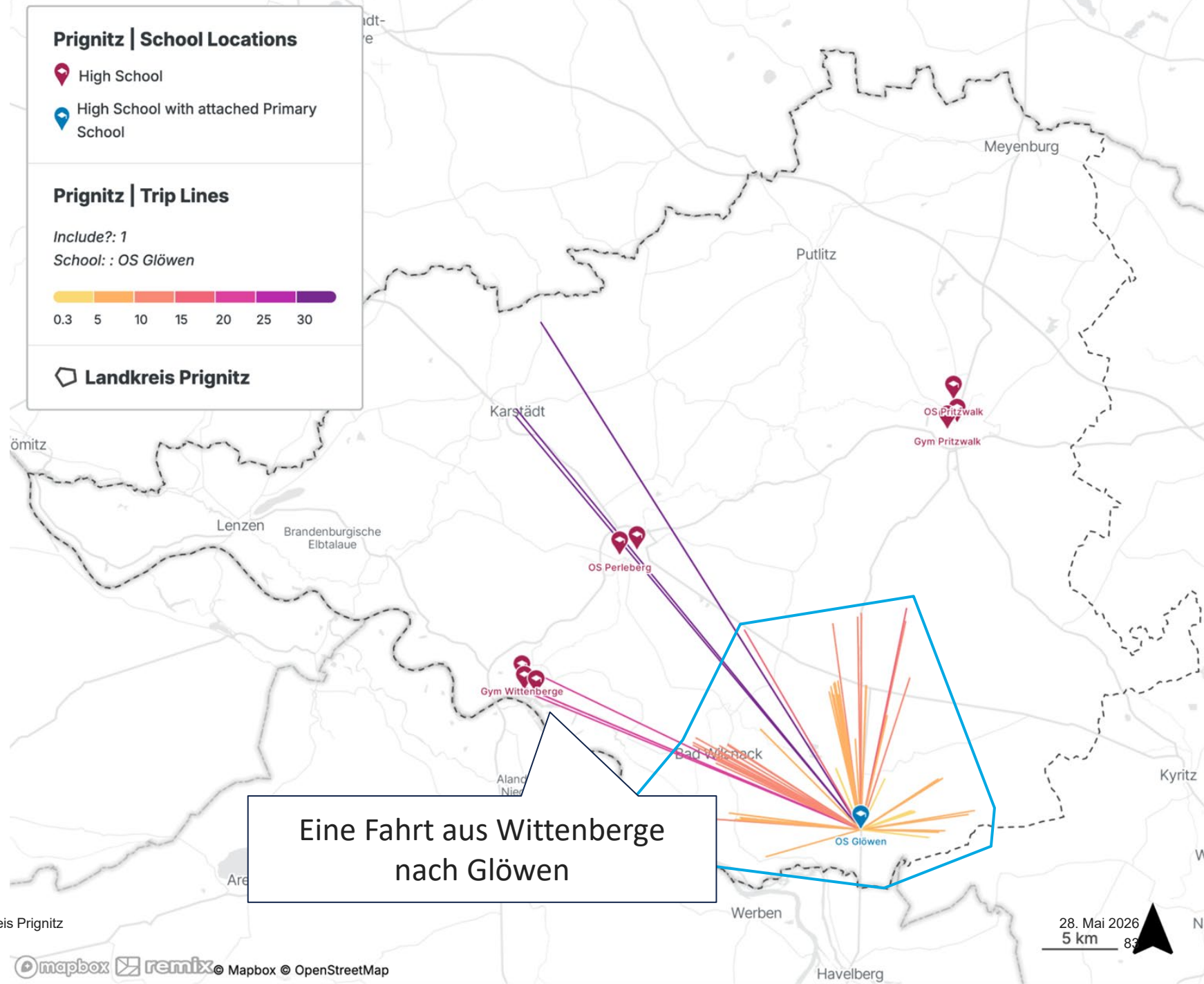
AP 1 - Backup - Schulverkehr Gym Wittenberge



AP 1 - Backup - Schulverkehr Oberschulen

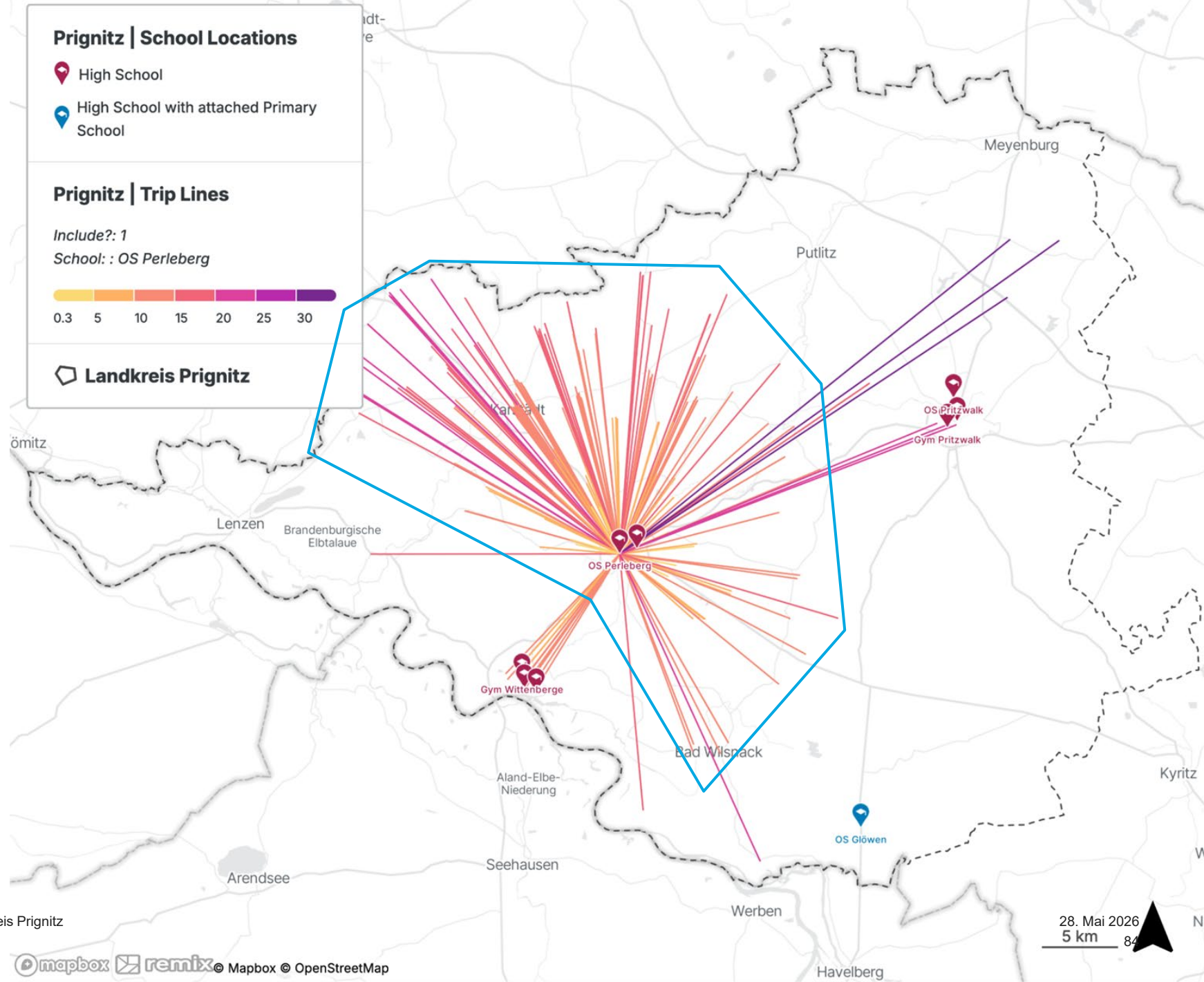


AP 1 - Backup - Schulverkehr OS Glöwen



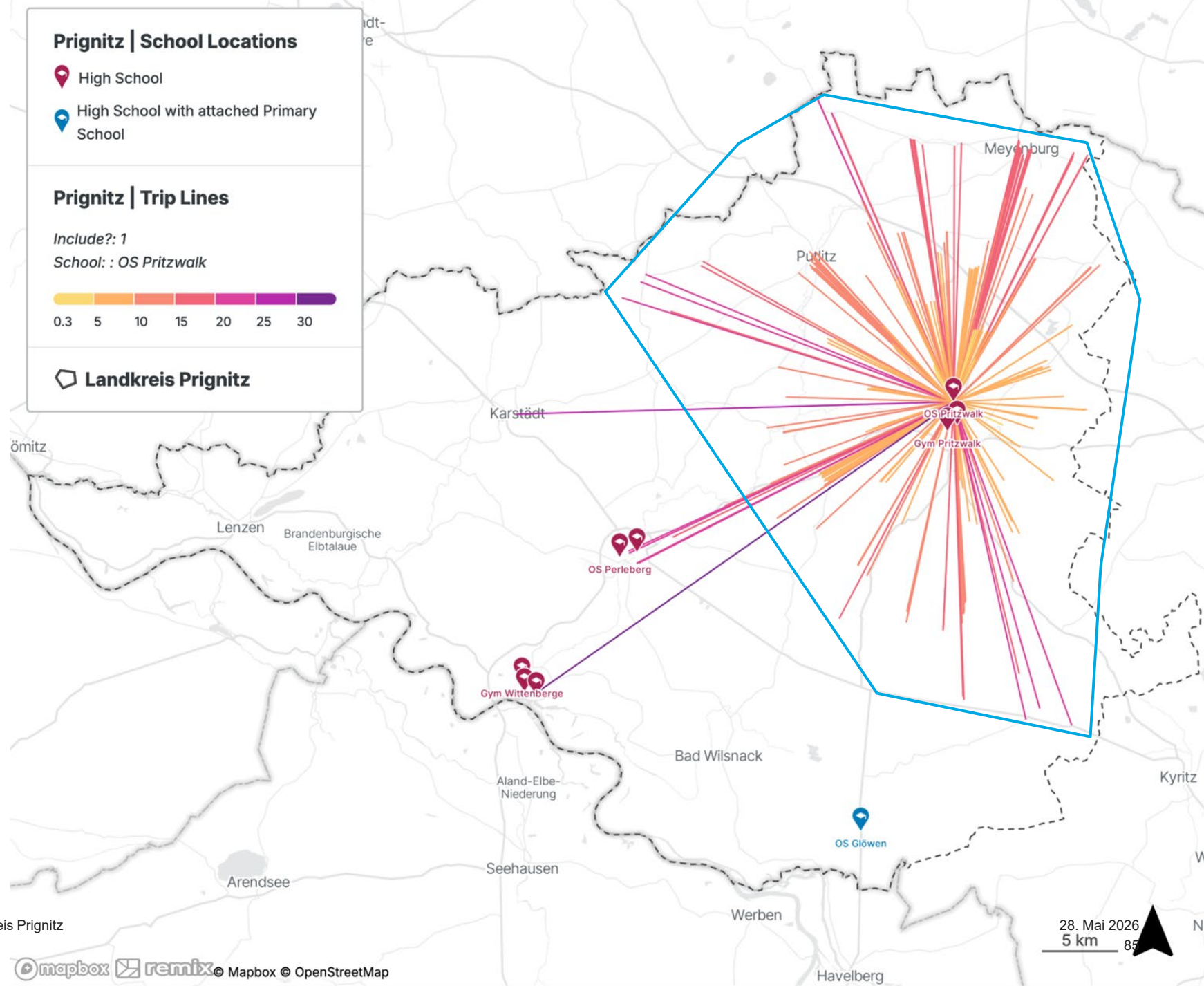
AP 1 - Backup - Schulverkehr

OS Perleberg

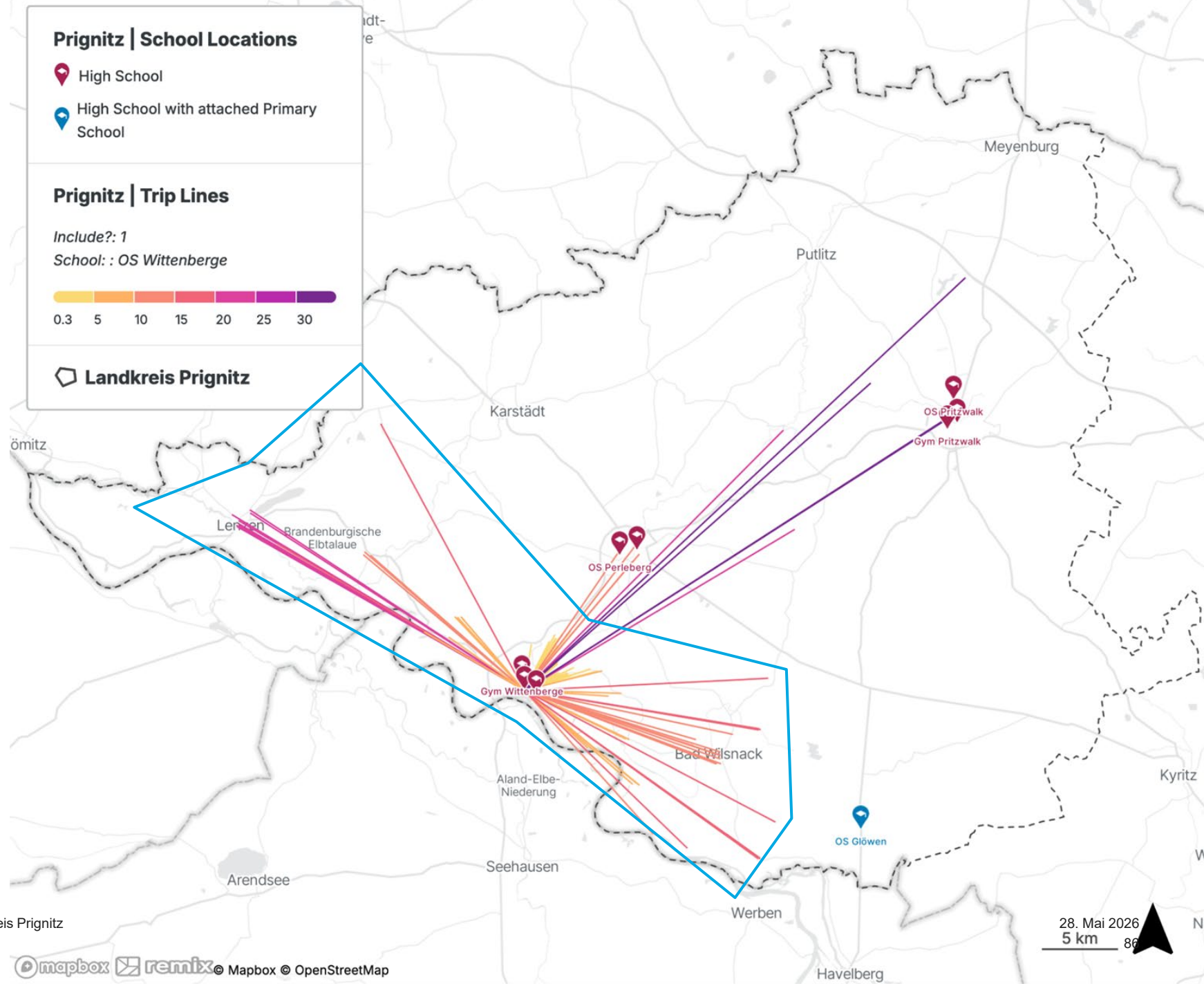


AP 1 - Backup - Schulverkehr

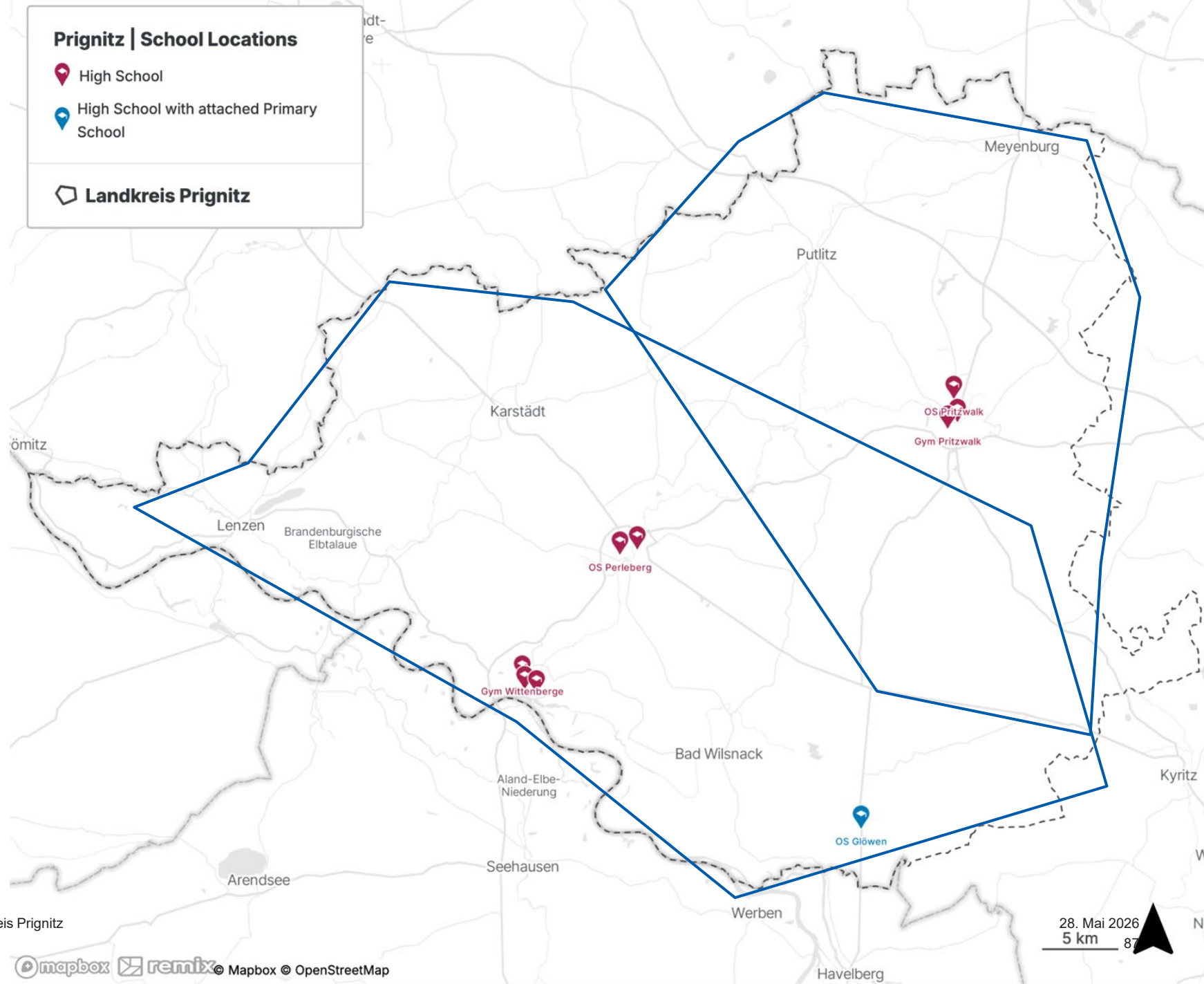
OS Pritzwalk



AP 1 - Backup - Schulverkehr OS Wittenberge

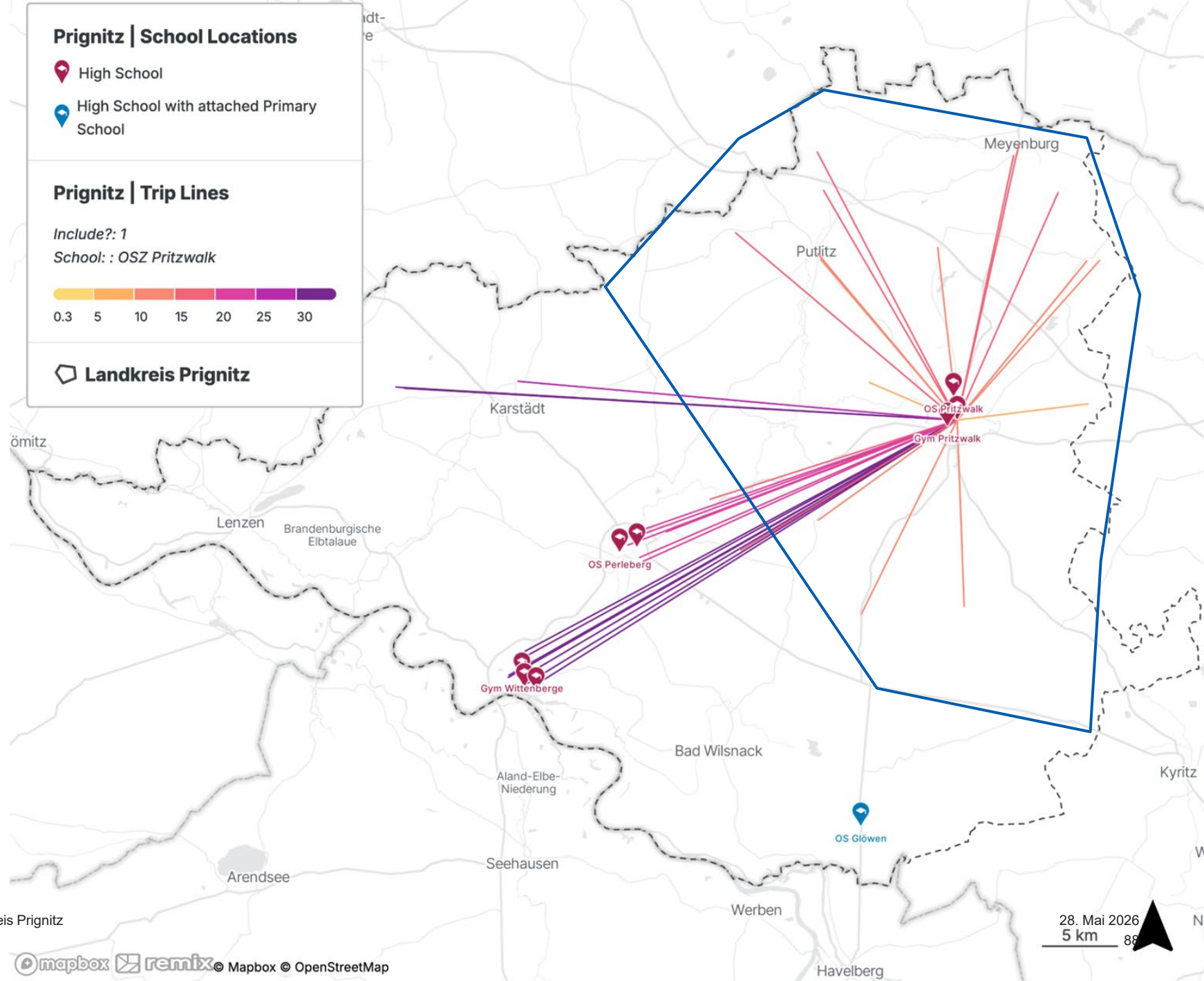


AP 1 - Backup - Schulverkehr Oberstufenzentren



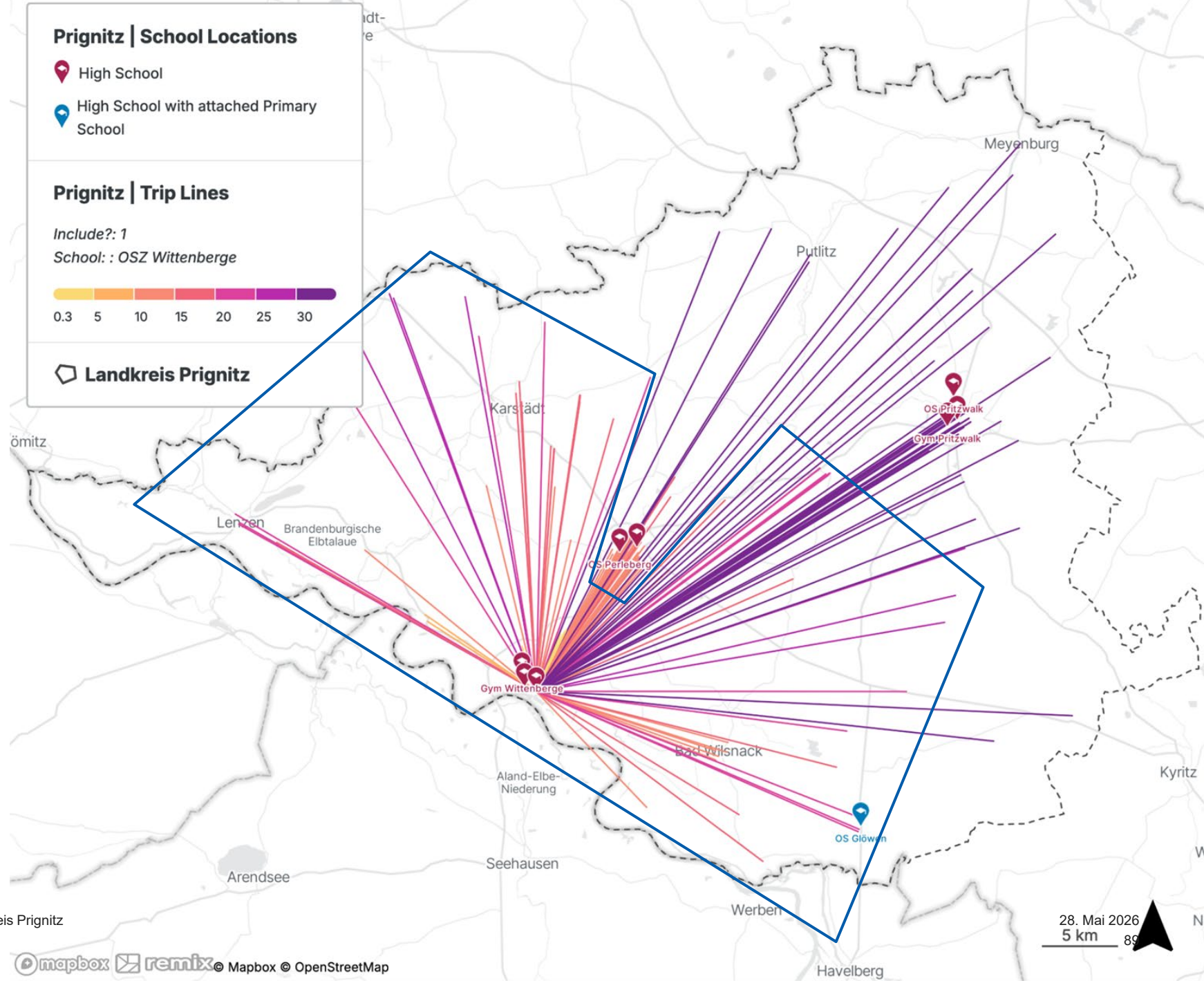
AP 1 - Backup - Schulverkehr

OSZ Pritzwalk



AP 1 - Backup - Schulverkehr

OSZ Wittenberge





Umlaufanalyse - Methodik und Allgemeines



Kontextinformationen zum Vorgehen

nur zur internen
Verwendung

Umlaufuntersuchung

Für die Umlaufuntersuchung wird das Softwaretool *route analyzer* eingesetzt. Die Eigenentwicklung von eebc berechnet den Energiebedarf von Buseinsätzen im ÖPNV auf Basis der im Zuge der Machbarkeitsstudie erstellten Umlauflisten. Das Tool unterscheidet zwischen weg- und zeitabhängigen Verbrauchsparametern, um Traktionsenergie und Nebenverbraucherenergie individuell zu berechnen. Damit kann die von Umgebungsbedingungen abhängige Nebenverbraucherenergie (primär beeinflusst von Fahrzeugklimatisierung) beispielsweise im Worst-Case für Machbarkeitsaussagen oder als Jahresdurchschnittswert für jährliche Energieverbrauchsprognosen berechnet werden. Darüber hinaus können ortsabhängige, linienspezifische Verbrauchswerte berücksichtigt werden, wenn das Liniennetz beispielsweise durch eine wechselhafte Topografie charakterisiert ist.

Das Softwaretool kann für verschiedene Antriebstopologien parametrisiert werden, so dass eine technologieoffene Bewertung auf derselben Berechnungsbasis möglich ist. Selbstverständlich ermöglicht das Tool die Berücksichtigung von (Schnell-) Ladepunkten, die Fahrzeugabschaltung bei langen Wartezeiten oder systemspezifische Parametrierungen wie verschiedene Ladeleistungen abhängig von den zu berücksichtigenden elektrischen Schnittstellen am Fahrzeug.

Umlaufverkettung

Die erste Berechnungsgrundlage für die Untersuchung sind Einzelumläufe. Einzelumläufe sind dabei Fahrstrecken, die sowohl am Betriebshof starten als auch am Betriebshof enden.

Für die Machbarkeitsbewertung auf Fahrzeugebene werden Einzelumläufe zu Fahrzeugtagesumläufen verkettet. Ein Fahrzeugtagesumlauf kann als machbar bewertet werden, wenn alle Teilstrecken (Einzelumläufe) als machbar bewertet werden. Aufenthaltsdauern zwischen den Einzelumläufen an Standorten mit Lade- oder Tankinfrastruktur (i.d.R. Betriebshof) werden als Nachlade- oder Nachtankintervall berücksichtigt, wenn die Verweildauern ausreichen.

Aufgrund der gegenüber Dieselnissen oder anderen konventionellen Antriebskonzepten eingeschränkten Reichweite von emissionsfreien Antrieben kann ein abweichender Verkettungsansatz als im aktuellen Betrieb erforderlich sein. Üblicherweise ist dies abhängig von der notwendigen Energiezuführung zwischen den Einzelumläufen.

Um mögliche Fahrzeugmehrbedarfe auf emissionsfreie Antriebe als Auslöser isolieren zu können, wird die Umlaufverkettung als Vergleichswert auch für konventionell angetriebene Busse ausgeführt. Hierbei wird angesetzt, dass keine Energiezuführung erforderlich ist und ein einrückendes Fahrzeug unmittelbar für potenzielle Folgeumläufe zur Verfügung steht.

Die Umlaufverkettung erfolgt spezifisch pro Fahrzeugtyp. Vielfach ergibt sich die Verkettung nach dem FIFO-Prinzip (First-In-First-Out). Von dieser Struktur kann jedoch abgewichen werden, wenn dies Vorteile birgt.

Kontextinformationen zum Vorgehen

nur zur internen
Verwendung

Berechnungsgrundlagen und Prämissen

Fahrzeugbatterie (Traktionsbatterie)

Es ist anzunehmen, dass der Entwicklungstrend der Lithium-Ionen-Batterietechnik in den nächsten Jahren fortgesetzt wird. Aufgrund von Optimierungen und technischen Neuerungen zum Beispiel im Bereich der Zellchemie sind ansteigende Batteriekapazitäten in den Fahrzeugen sehr wahrscheinlich. Um den Entwicklungstrend in den Bewertungsablauf integrieren zu können, wird die Referenzkapazität pro Fahrzeugtyp über der Zeitachse definiert. Die Referenzkapazität entspricht dabei der zu erwartenden marktverfügbaren Batteriekapazität pro Zeitabschnitt.

Aus Komplexitätsgründen wird ein Stufenmodell angesetzt, bei dem die Referenzkapazität über einen Fünfjahreszeitraum konstant ist. Die Wertentwicklung erfolgt konservativ. Die Kapazitätsprognose wird bereits seit mehreren Jahren ausgeführt und lag rückblickend stets deutlich unterhalb der tatsächlich am Markt verfügbaren Batteriekapazitäten. Es ist anzunehmen, dass in der Praxis größere Kapazitätswerte verfügbar sind als hier unterstellt. Einschränkend gilt hier, dass die Entwicklungsprognose eine Annahme darstellt. Es ist nicht auszuschließen, dass zukünftig das Entwicklungspotenzial für die Vergrößerung der Kapazität im Fahrzeug genutzt wird, sondern um bei gleichbleibender Kapazität kostengünstigere und kleinere Batterieeinheiten zu verbauen.

Hier wird von einer Kapazitätsvergrößerung bis Ende der 2030er Jahre ausgegangen, wobei der Kapazitätszuwachs sukzessive verkleinert wird. Angesetzt wird für die hier betrachteten 12m Standardbusse:

- Nutzbare Kapazität bis 2027: 400 kWh
- Nutzbare Kapazität bis 2028-2032: 480 kWh
- Nutzbare Kapazität bis 2033-2037: 580 kWh
- Nutzbare Kapazität bis 2038-2042: 640 kWh

Da ausschließlich Fahrzeugmodelle mit Ladung per CCS-Steckkontakt relevant sind (keine Schnellladung im Liniennetz), muss keine Kapazitätsreduktion erfolgen, die den Bauraumverlust bei dachseitigen Ladeschnittstellen widerspiegelt.

Brennstoffzellentechnik

Aktuell werden Brennstoffzellensysteme im Nutzfahrzeugsektor mit gasförmigem Wasserstoff in 350 bar Technik ausgeführt. Am Weltmarkt sind teilweise Ambitionen zu beobachten, auch im Nutzfahrzeugsektor die aus dem Pkw-Sektor bekannte Flüssig-Wasserstoffspeicherung einzusetzen. Grundsätzlich kann dies weitere Reichweitenvorteile erzeugen. Inwiefern diese Technik sich am Markt durchsetzen kann, ist aktuell nicht seriös abschätzbar. Da ein Speicherzuwachs für die Brennstoffzellentechnik hier nur geringfügige Auswirkungen hat, wird der Status -Quo mit der erprobten 350 bar Technik angesetzt.

Betrachteter Betriebstag

Für die Bewertung der Machbarkeit wird der härteste Betriebstag ausgewählt. Die Erstellung der Umlaufdaten zu Beginn der Machbarkeitsstudie erfolgte bereits darauf ausgerichtet, so dass der vorliegende Umlaufdatensatz für „Freitag_Schule“ dem härtesten Betriebstag entspricht. Zur Berechnung der Energiemengen für den Wochenend- und Ferienverkehr erfolgt eine Skalierung der Energiemengen anhand beigestellter Prozentwerte auf Basis der Tagesfahrleistungen.

Kontextinformationen zum Vorgehen

nur zur internen
Verwendung

Berechnungsgrundlagen und Prämissen (Fortsetzung)

Einsatzumfeld

Die Topografieeinschätzung im Einsatzgebiet ist weitestgehend flach, nur im östlichen Kreisgebiet gibt es mäßig ausgeprägte Höhenzüge. Die Traktionsleistung wird leicht über dem Einsatz im flachen Gelände parametrisiert, wobei auch hier eine konservative Einschätzung erfolgt, um Faktoren wie modellabhängige Fahrzeugeffizienz und Fahrerverhalten abzubilden.

Zeitangaben in Grafiken

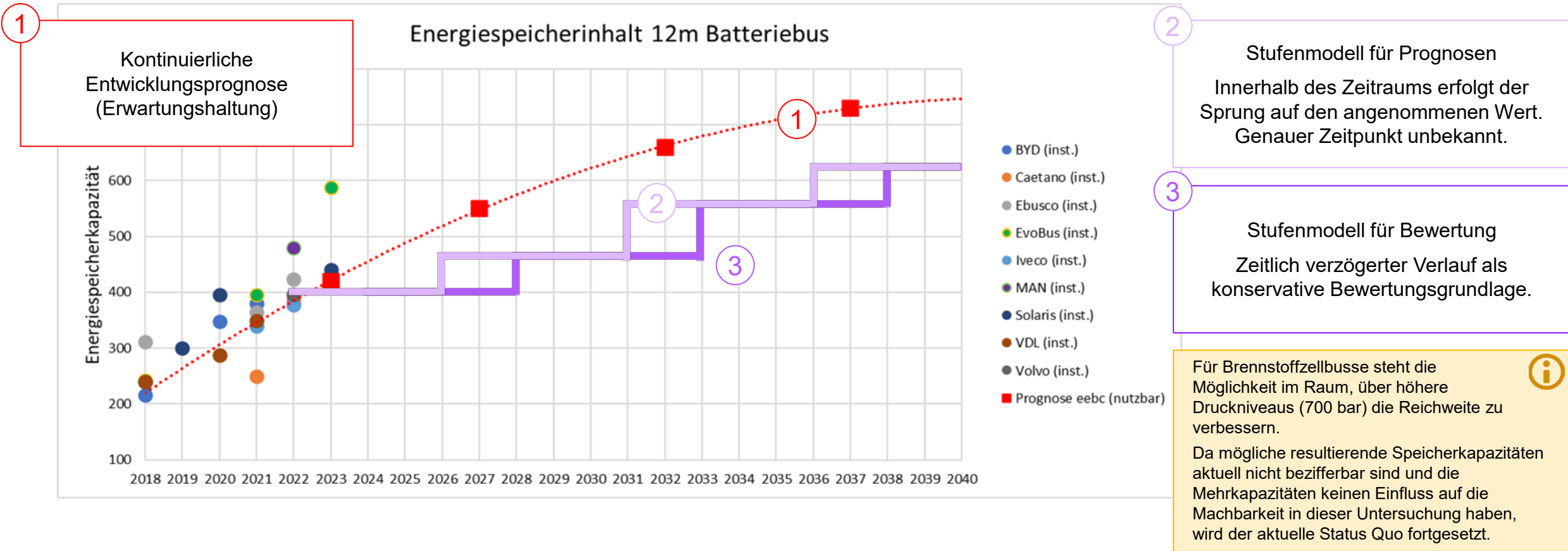
Betriebstage gehen in vielen Fällen über den Kalendertag hinaus. Dies gilt insbesondere, wenn der Fokus auf die Ladeinfrastruktur gelegt wird. Die Umläufe selbst erfolgen „am Tag“, während die Ladung auf die Nachtstunden entfällt.

Zum Beispiel kann ein Umlauf um 3 Uhr morgens starten, um 19 Uhr im Depot enden und seinen Ladevorgang um 3 Uhr nachts beginnen.

Um eine eindeutige Zeitachse einzuführen, mithilfe derer frühmorgens von spätnachts unterschieden werden kann, werden Zeiten im 48 Stunden Format angegeben. Hierbei springt die Zeit nach 23:59 Uhr nicht auf 0:00 Uhr. Stattdessen wird von 24:00 Uhr „weitergezählt“. 3 Uhr nachts aus obigem Beispiel wird als 27:00 Uhr angegeben, um die Zeit gegenüber 3 Uhr morgens abzugrenzen.

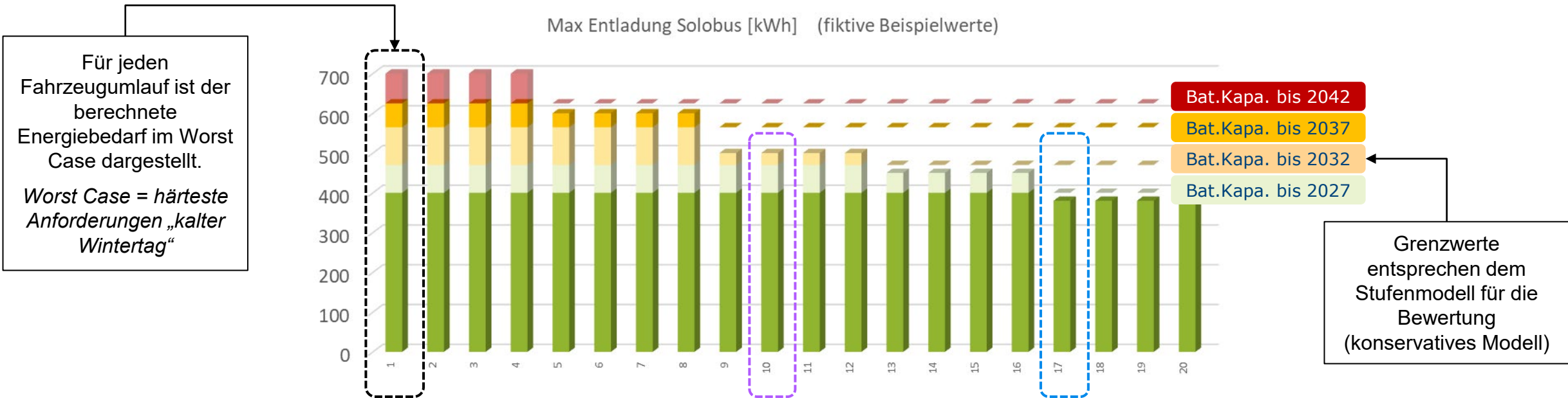
Aufgrund der technischen Entwicklung im Batteriesektor, muss auch dessen Bewertung „über einer Zeitachse“ erfolgen

nur zur internen Verwendung



Erläuterung der Energiebedarfsgrafiken

nur zur internen
Verwendung



Balken unterhalb eines Grenzwertes werden in diesem Zeitraum als unkritisch bewertet!

Beispiel **Umlauf 10**: Balken zwischen Grenzwert ‚bis 2032‘ und ‚bis 2037‘

Beispiel **Umlauf 17**: Balken liegt unterhalb Grenzwert ‚bis 2027‘

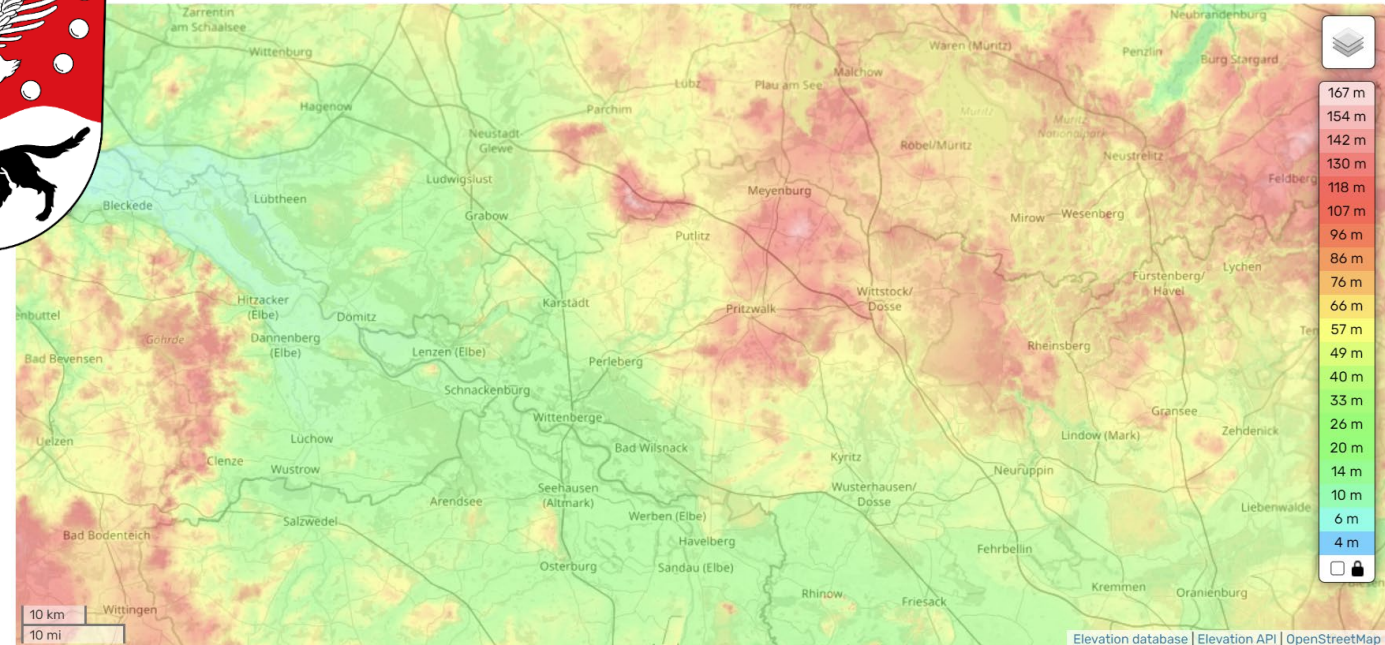
⇒ Umlauf gilt bis 2032 als kritisch, ab 2033 unkritisch.

⇒ Umlauf ist bereits heute, mit gegebener Kapazität, unkritisch

Die Topografie vor Ort wird im Berechnungsansatz berücksichtigt

nur zur internen
Verwendung

- Die Topografie wird als weitestgehend flach eingeschätzt
 - Im östlichen Kreisgebiet mäßig ausgeprägte Höhenzüge
- Angesetzter spezifischer Energiebedarfswert pro km leicht erhöht gegenüber Einsatz in der Ebene
 - Angesetzter Wert liegt etwa 10-20 % über dem Idealwert in der Ebene
 - Auch um Fahrerverhalten und modellabhängige Effizienz abzubilden



Quelle: <https://de-de.topographic-map.com/>

* Energiemengen der Nebenverbraucher werden im Auswertungstool als zeitabhängige Größen unabhängig vom Fahrprofil berechnet.

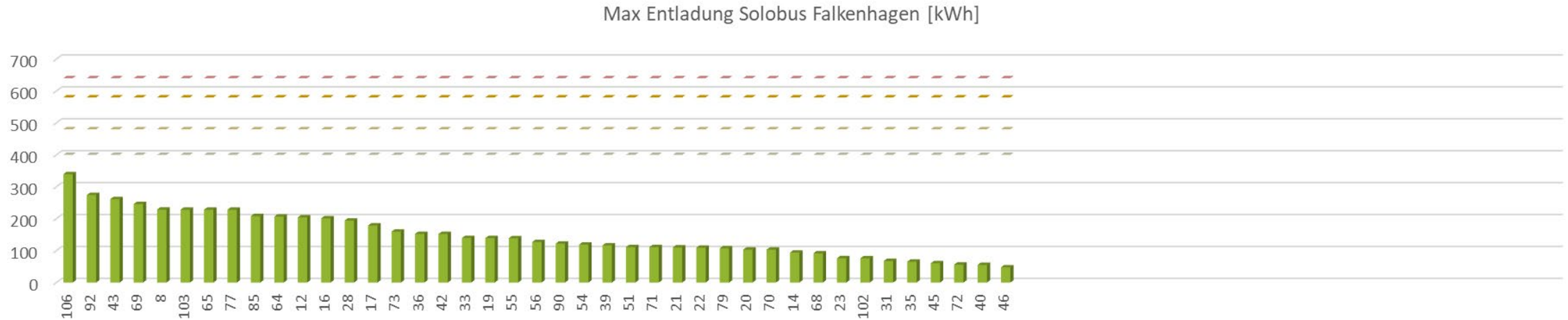
Umlaufpläne liegen für einen Schultag vor.
Im Folgenden bezeichnet als Fr(S) für Freitag (Schule)



Umlaufanalyse – Einzelumläufe



Einzelumläufe Standort Falkenhagen – BEV



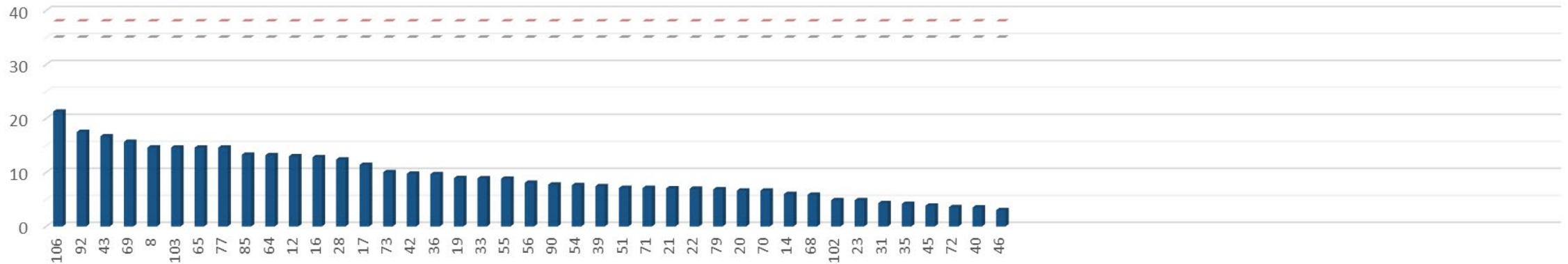
- Alle Verbrauchswerte liegen deutlich unter dem aktuellen Grenzwert für Batteriekapazität
- Alle Einzelumläufe können bereits heute als unkritisch bewertet werden
 - Langfristig steigende Kapazitätswerte haben keinen Einfluss auf die Machbarkeit
- ➔ Zu prüfen: Auswirkung der Umlaufverkettung und Machbarkeit bei Fahrzeugtageseinsätzen
 - Fahrzeuge können mehrere Umläufe nacheinander fahren, wenn Ladeintervalle ausreichend sind

Übersicht Grenzwerte

- Gültig von 2038 bis 2042
- Gültig von 2033 bis 2037
- Gültig von 2028 bis 2032
- Gültig von heute bis 2027

Einzelumläufe Standort Falkenhagen – FCEV

H₂ Menge Falkenhagen [kg]



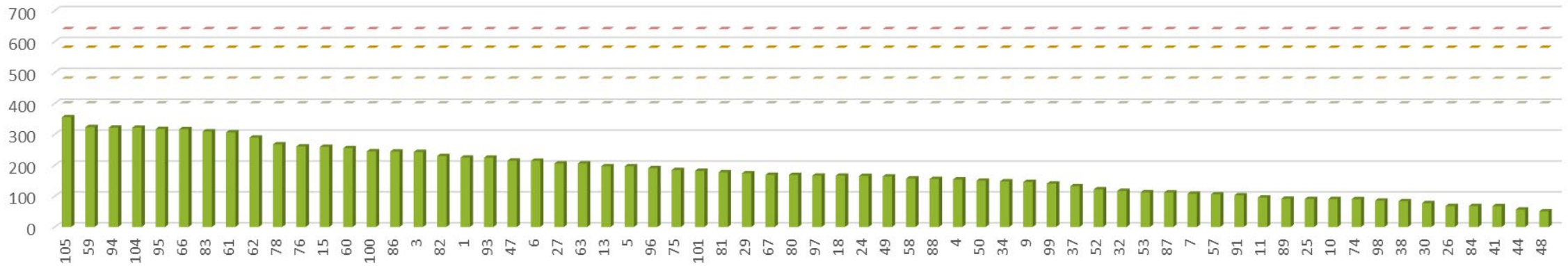
- Alle Verbrauchswerte liegen deutlich unter den marktüblichen H₂ Tankgrößen
- Alle Einzelumläufe können bereits heute als unkritisch bewertet werden
- ➔ Zu prüfen: Auswirkung der Umlaufverkettung und Machbarkeit bei Fahrzeugtageseinsätzen
 - Fahrzeuge können mehrere Umläufe nacheinander fahren.
 - Eine Nachbetankung zwischen Einzelumläufen kann auch für FCEV erforderlich sein

Übersicht Grenzwerte

- H₂ Tank „groß“
- H₂ Tank „klein“

Einzelumläufe Standort Weisen – BEV

Max Entladung Solobus Weisen [kWh]



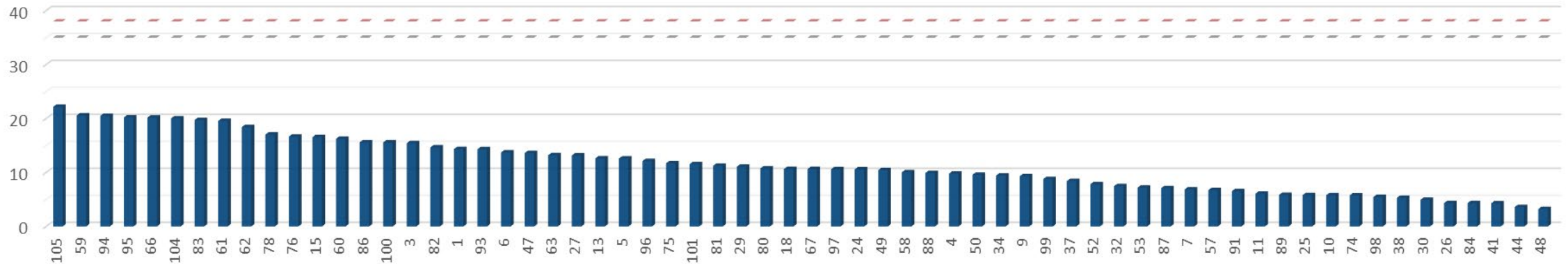
- Alle Verbrauchswerte liegen deutlich unter dem aktuellen Grenzwert für Batteriekapazität
- Alle Einzelumläufe können bereits heute als unkritisch bewertet werden
 - Langfristig steigende Kapazitätswerte haben keinen Einfluss auf die Machbarkeit
- ➔ Zu prüfen: Auswirkung der Umlaufverkettung und Machbarkeit bei Fahrzeugtageseinsätzen
 - Fahrzeuge können mehrere Umläufe nacheinander fahren, wenn Ladeintervalle ausreichend sind

Übersicht Grenzwerte

- Gültig von 2038 bis 2042
- Gültig von 2033 bis 2037
- Gültig von 2028 bis 2032
- Gültig von heute bis 2027

Einzelumläufe Standort Weisen – FCEV

H₂ Menge Weisen [kg]



- Alle Verbrauchswerte liegen deutlich unter den marktüblichen H₂ Tankgrößen
- Alle Einzelumläufe können bereits heute als unkritisch bewertet werden
- ➔ Zu prüfen: Auswirkung der Umlaufverkettung und Machbarkeit bei Fahrzeugtageseinsätzen
 - Fahrzeuge können mehrere Umläufe nacheinander fahren.
 - Eine Nachbetankung zwischen Einzelumläufen kann auch für FCEV erforderlich sein

Übersicht Grenzwerte

- H₂ Tank „groß“
- H₂ Tank „klein“

Umlaufanalyse - Ergebnisinterpretation

Machbarkeit BEV und FCEV

- Maximal positives Gesamtbild ohne besondere Herausforderungen für einen Technologiewechsel
- Alle Umläufe sind **mit BEV oder FCEV machbar**
- Die Verkettung von Einzel- zu Fahrzeugtagesumläufen kann sich auf die Machbarkeit auswirken
 - Prüfung im folgenden Abschnitt

Optimierungsmaßnahmen und Alternativtechniken

- Auf Basis der Einzelumläufe sind weder Optimierungsmaßnahmen noch Alternativtechniken erforderlich/sinnvoll
 - Abschließenden Bewertung erfolgt im folgenden Abschnitt



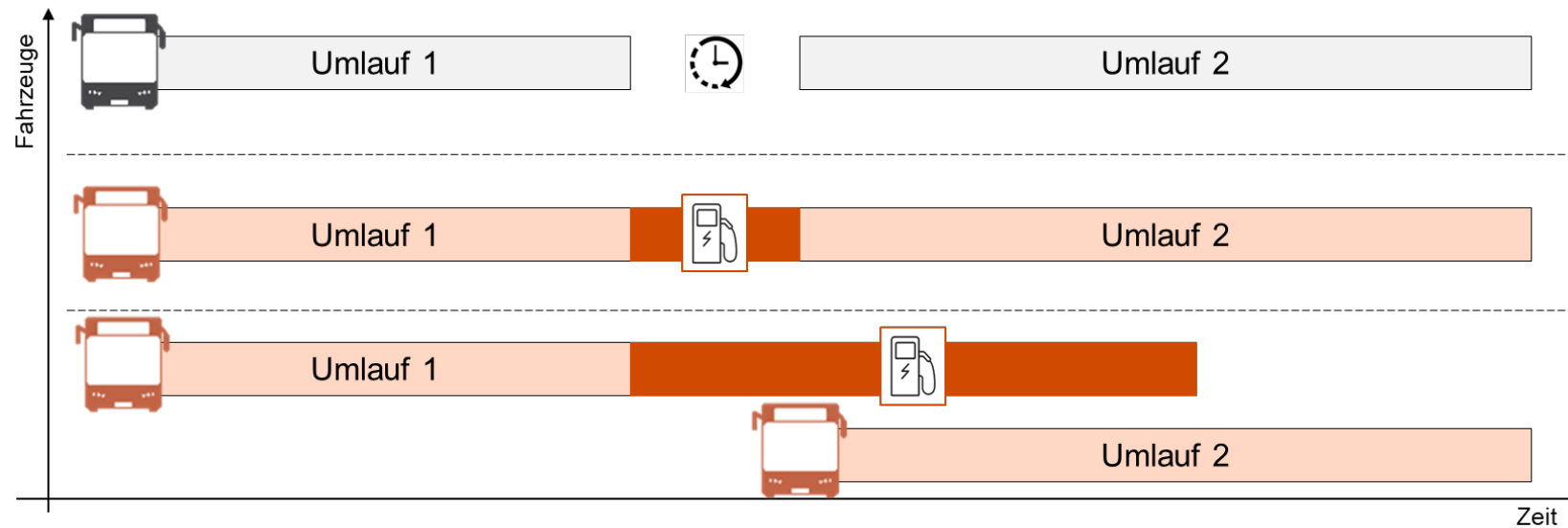
Umlaufanalyse – Einsatzpotenziale



Die Umlaufverkettung von Einzel- zu Fahrzeugtagesumläufen kann Auswirkung auf die Fahrzeugzahl haben

- Ein einzelnes Fahrzeug kann grundsätzlich mehrere Einzelumläufe nacheinander absolvieren
 - Für BEV (und FCEV) müssen die Aufenthalte zwischen Einzelumläufen oft zur Nachladung genutzt werden
- ➔ **Im Abschnitt Einsatzpotenziale liegt der Fokus auf Fahrzeugzahlen** statt Umläufen

Exemplarische Darstellung: Umlaufverkettung



Verkettung mit Dieselsbussen unkritisch, da **nicht nachgetankt** werden muss

Ladeintervall ist ausreichend, um ausreichend Energie für Folgeumlauf nachzuladen

➔ **Fahrzeuganzahl bleibt gleich**

Ladeintervall ist zu kurz, um ausreichend Energie für Folgeumlauf nachzuladen

➔ **Fahrzeuganzahl steigt**

Umlaufverkettung - Ergebnisübersicht

Auswirkung Umlaufverkettung auf Fahrzeugmenge

- Keine Auswirkung
 - Fahrzeugzahlen für BEV und FCEV sind identisch zum Dieselreferenzszenario
- Zeiträume zwischen allen Einzelumläufen fallen sehr großzügig aus
 - Nachladung (BEV) oder Nachbetankung (FCEV) ist in jedem Fall unkritisch

Auswirkung Umlaufverkettung auf Machbarkeitszeitpunkt

- Nur relevant für BEV mit technischer Entwicklungsprognose
 - Mit steigender Batteriekapazität muss weniger Energie zwischen Umläufen nachgeladen werden (mit größerer Batterie hat der Bus morgens bereits mehr Energie „im Gepäck“)
- ➔ Hier keine Auswirkung: Alle Fahrzeugeinsätze könnten bereits heute mit BEV oder FCEV realisiert werden
 - Darstellung anhand der Einsatzpotenziale über Zeitachse
 - Einsatzpotenzial \triangleq Menge umstellbarer Fahrzeuge ohne jegliche Sonder- oder Anpassungsmaßnahmen (Dieselbusse werden im „Eins-zu-Eins-Ersatz“ durch BEV ausgetauscht)

Einsatzpotenziale – BEV & FCEV

			Anzahl machbarer Fahrzeuge ohne Anpassungsmaßnahmen („Eins-zu-Eins-Ersatz“)									
Fahrzeugtyp	Fahrzeugmenge Diesel	Technik	Heute	Ab 2028	Ab 2033	Ab 2038	Ab 2038	Ab 2038	Ab 2038	Ab 2038	Langfristig kritisch	Ab 2038
Standort Falkenhagen												
Solobus 12m (41 Umläufe)	24	BEV	24	100 %	24	100 %	24	100 %	24	100 %	0	0 %
		FCEV	24	100 %	24	100 %	24	100 %	24	100 %	0	0 %
Standort Weisen												
Solobus 12m (64 Umläufe)	34	BEV	34	100 %	34	100 %	34	100 %	34	100 %	0	0 %
		FCEV	34	100 %	34	100 %	34	100 %	34	100 %	0	0 %

- Zahlenwerte beziehen sich auf die Einsatzflotte,
 - (Stehende) Reservebusse müssen keine Fahranforderungen erfüllen
- Die Fahrzeugreserve muss zusätzlich vorgehalten werden

Einsatzpotenziale - Ergebnisinterpretation

Machbarkeit BEV und FCEV

- Bestätigung der auf Einzelumlauf-Ebene getroffenen Aussagen
- Weiterhin: Maximal positives Gesamtbild ohne besondere Herausforderungen für einen Technologiewechsel
- Alle Fahrzeugeinsätze sind sowohl **mit BEV als auch mit FCEV** bereits mit heutiger Technik umstellbar
- ➔ Technologieempfehlung kann vollständig auf kommerzieller Ebene erfolgen
 - Keine technischen Einschränkungen

Optimierungsmaßnahmen und Alternativtechniken

- Weder Optimierungsmaßnahmen noch Alternativtechniken sind erforderlich oder sinnvoll
 - Aufgrund der „Stand-Alone“ Betrachtung mit für emissionsfreie Antriebe entworfenen Umlaufplänen existiert kein „Diesel-Status-Quo“ als Vergleichswert
 - Im gegebenen Umlaufscenario ergeben sich keinerlei betriebliche Abweichungen zwischen einem Betrieb mit BEV, FCEV oder Dieseln



AP2 –
Fuhrpark-, Flotten- und
Betriebshofanalysen

Kontextinformationen zum Vorgehen

nur zur internen
Verwendung

Lastgangoptimierung

Als Lastgang wird hier die Netzlast bezeichnet, die sich am Versorgungsnetz aus der Summe aller einzelnen Ladevorgänge über der Zeitachse ergibt. Im Rahmen der Optimierung wird die Funktion eines Lademanagementsystems nachgebildet, das die Lastspitzen auf ein Minimum reduzieren soll.

Im ungesteuerten System beginnen Ladevorgänge unmittelbar nach Ankunft der Fahrzeuge und Schließen des Ladekontakts. Parallel ausgeführte Ladevorgänge summieren sich dabei zu einer steigenden Netzlast auf. Die Reduktion der Netzlast auf ein Minimum ist erforderlich, um die tatsächlich erforderliche Netzanschlusskapazität zu ermitteln und Netzanschlusskomponenten entsprechend zu dimensionieren. Die Lastgangoptimierung bildet das Systemverhalten eines Lademanagementsystems nach, indem Ladevorgänge zeitlich optimiert gegeneinander versetzt werden. Teilweise wirken Lademanagementsysteme derart, dass Ladevorgänge nicht verschoben, sondern die Leistung pro Ladevorgang reduziert wird. In dieser Optimierung laufen viele Ladevorgänge bei geringer Last parallel.

Hier wird ein sukzessiver Ansatz verfolgt, bei dem die Ladeleistung über den gesamten Ladevorgang auf Nennleistung bleibt. Da die angesetzte Ladeleistung (130 kW) bezogen auf übliche Batteriekapazitäten einer C-Rate von deutlich unter 0,5 entspricht, muss keine erhöhte Batteriealterung gegenüber dem parallelen Ansatz befürchtet werden. Gleichzeitig hat der Ansatz den Vorteil, dass Ladevorgänge möglichst schnell abgeschlossen werden und Fahrzeuge früh wieder zur Verfügung stehen (z.B. für ungeplante Einsätze). Vgl. auch Darstellung auf Folie „Allgemeines zur Lastgangoptimierung“.

Berechnungsgrundlagen und Prämissen

Betrachtungsszenario

Zugrunde gelegt wird hier der Wochentagsumlaufplan (Mo-Fr Schule), beziehungsweise ein Betriebstagswechsel in diesem Intervall. Da in dieser Machbarkeitsstudie der Umlaufplan für Freitag_Schule repräsentativ für alle Schultage ist, wird hier fiktiv ein Wechsel von Freitag_Schule auf Freitag_Schule berechnet.

Zeitangaben in Grafiken

Sofern eine Unterscheidung gegenüber dem Folgetag erforderlich ist, kann auch hier das 48 Stundenformat angesetzt werden, bei dem die Stunden des zweiten Tages zwischen 24:00 und 48:00 Uhr gezählt werden.



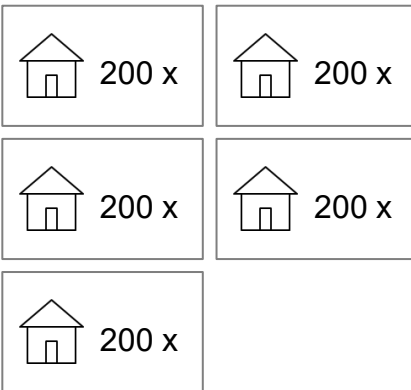
Energiekonzept



Bei vollständig dekarbonisierter Flotte liegen nennenswerte Energiebedarfe pro Jahr vor

BEV


Standort	Bus	On-Demand	Summe
Falkenhagen	1.257 MWh	150 MWh	1.407 MWh
Weisen	2.507 MWh	429 MWh	2.936 MWh
Gesamt	3.764 MWh	579 MWh	4.343 MWh



Zum Vergleich: **4.000 MWh p.a.** entsprechen etwa dem Energiebedarf von etwa **1.000 4-Personenhaushalten** (4.000 kWh pro Jahr und Einfamilienhaus).

FCEV

Standort	Bus	On-Demand	Summe
Falkenhagen	81 t H ₂	N.A. (nur BEV)	81 t H ₂
Weisen	162 t H ₂	N.A. (nur BEV)	162 t H ₂
Gesamt	243 t H₂	N.A. (nur BEV)	243 t H₂



Zum Vergleich: **230 t H₂ p.a.** entsprechen im Durchschnitt etwa **0,5 Lkw-Trailer** Anlieferungen **pro Tag**.

Angesetzt sind hier Trailerkapazitäten mit 1,25 t pro Trailer. Bei aktuell verbreiteten Trailerkapazitäten von ca. 500 kg müssten pro Tag im Schnitt etwa 1,25 Trailer in den Landkreis geliefert werden.

Energiekonzept

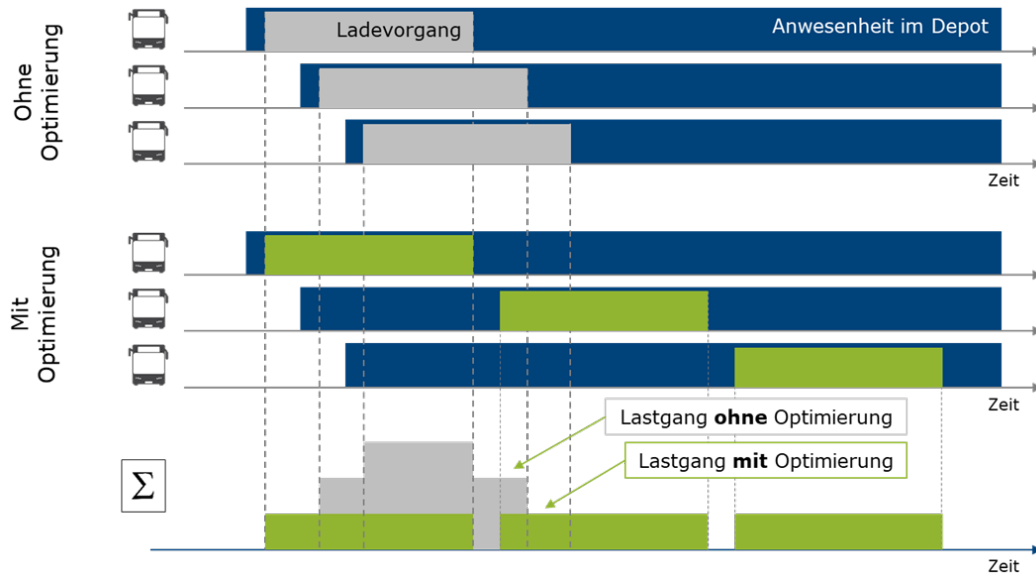
Elektrische Ladeinfrastruktur



Allgemeines zur Lastgangoptimierung

nur zur internen
Verwendung

Schema Lastgangoptimierung



- Reservebusse müssen keine Fahr- oder Ladeanforderungen erfüllen, benötigen dennoch einen Stellplatz mit Ladekontakt
- Die Fahrzeugreserve wird hier mit ca. 15% der Einsatzflotte angesetzt

Prinzip der Lastgangoptimierung

- Lastgangoptimierung \approx Nachbildung Lademanagementsystem
 - Verschieben der einzelnen Ladevorgänge auf Zeitachse
- Betrachtetes Szenario ist Wochentag_Schule auf Wochentag_Schule
 - Worst Case Betriebstag
 - Erzeugt maximalen Energiebedarf aufgrund maximaler Fahranforderungen

Lastgangoptimierung erfolgt pro Betriebshof

- Angenommen wird eine perspektivische Vollumstellung aller Linienbündel
 - Ziel: Abschätzungen für den Vollausbau, um Netzanschlüsse entsprechend auszulegen
- Status Quo wird fortgesetzt.

Modulbaukasten für Ladeinfrastrukturkonzepte

Struktur

- Es werden grundsätzlich sog. „Matrix-Ladesysteme“ angenommen
 - Matrix-Ladesysteme bestehen intern aus kleinen Leistungsmodulen, die beliebig an alle angebundene Ladeschnittstellen verschaltet werden können (softwaregesteuert, nicht manuell)
 - Die installierte Systemleistung kann sehr flexibel auf alle Ladepunkte verteilt werden

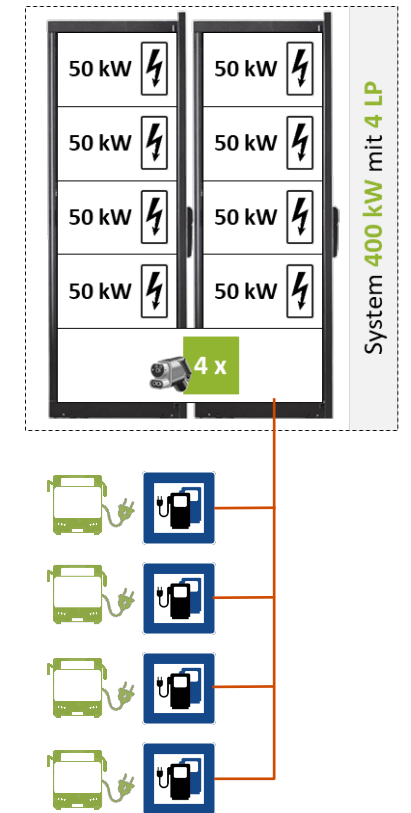
Modularität

- Ladesysteme bestehen aus individuellen Leistungsmodulen (empfohlen ≤ 50 kW, besser 25 kW)
- Jede Systeminstanz kann mit bis zu 600 kW ausgestattet werden (z.B. 12 x 50 kW Module)
- Module arbeiten kooperativ im Verbund
 - Leistungsmodule können Ihre Ladeleistungen „summieren“ und den Ladepunkten zur Verfügung stellen

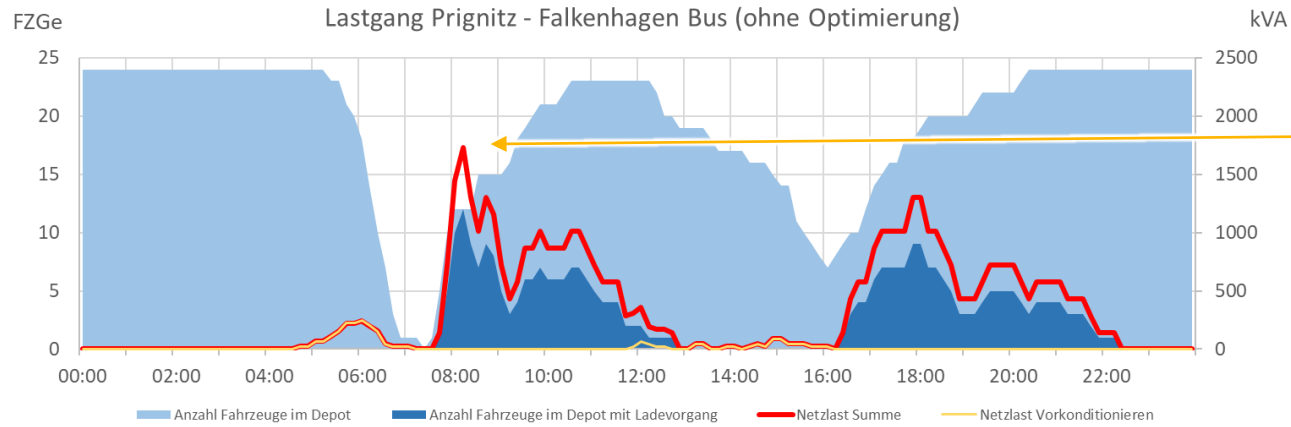
Ladepunkte

- Angenommen werden zwei Varianten: Entweder mit 4 oder mit 8 Ladepunkten (LP) pro Instanz
 - Denkbar wären ggf. auch Alternativen mit 6 LP (herstellerabhängig)
- Grundsätzlich können beliebige Ladeschnittstellen angebunden werden
 - Hier wird vom CCS Typ 2 Steckkontakt ausgegangen

Beispieldarstellung

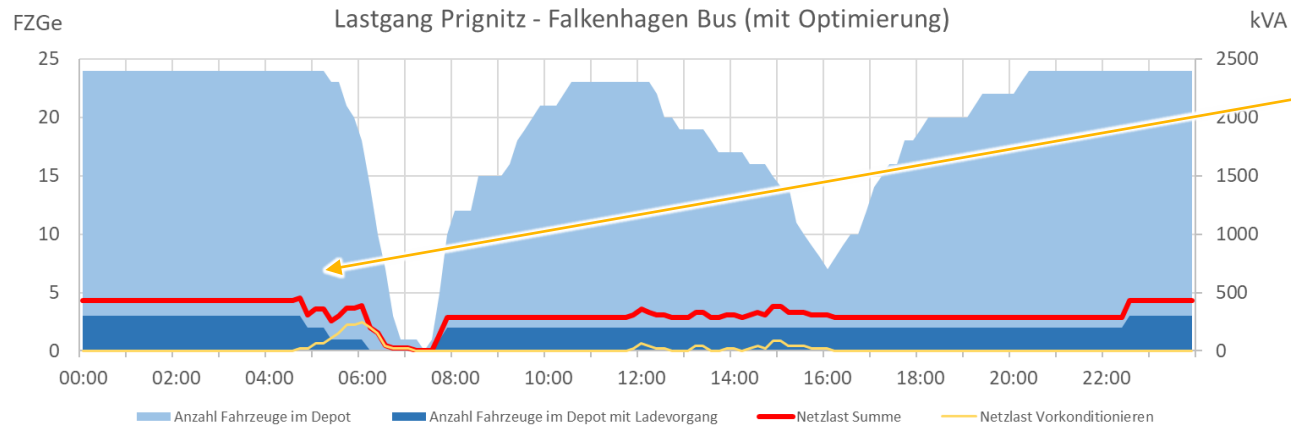


Lastgänge Standort Falkenhagen (nur Bus; mit & ohne Optimierung)



Lastspitze vor Optimierung

1.733 kVA



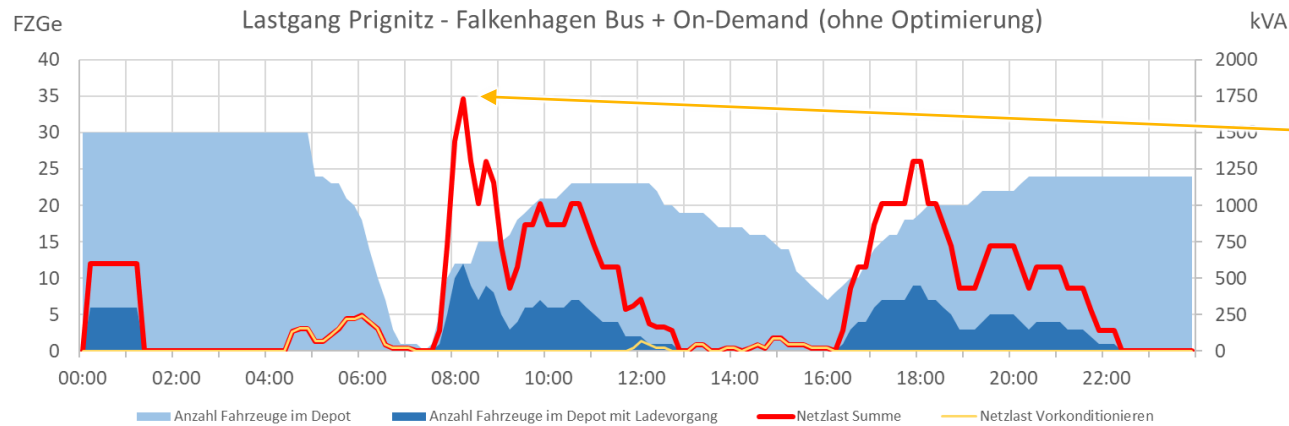
Lastspitze nach Optimierung

456 kVA (- 74 %)

Laut ENB ist am Standort eine ausreichende
Mittelspannungsanbindung möglich. Realisierbar
ist eine Netzanbindung mit

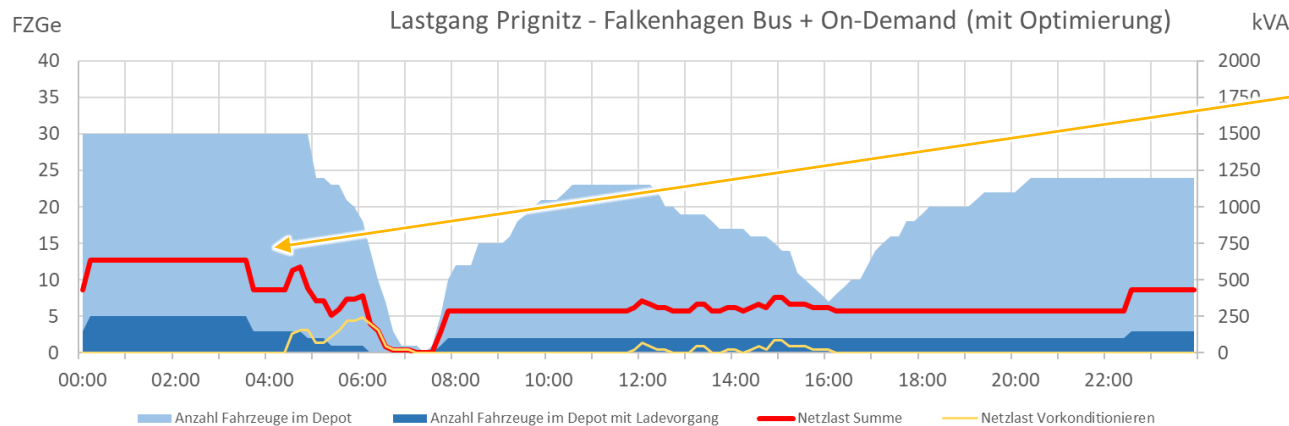
2.000 kVA

Lastgänge Standort Falkenhagen (Bus & On-Demand; mit & ohne Optimierung)



Lastspitze vor Optimierung

1.733 kVA



Lastspitze nach Optimierung

633 kVA (- 63 %)

Laut ENB ist am Standort eine ausreichende
Mittelspannungsanbindung möglich. Realisierbar
ist eine Netzanbindung mit

2.000 kVA

Ladeinfrastrukturkonzept Standort Falkenhagen

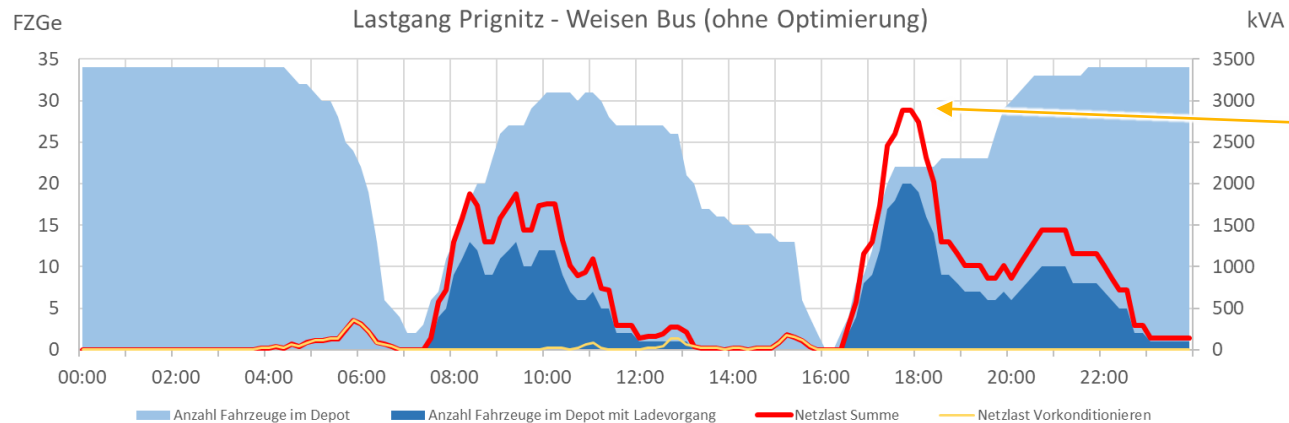
Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW (90 kW für Kleinbusse)
Lastspitze nach Optimierung	633 kVA
Lastspitze inklusive Reserve (+ 3 zusätzliche Ladevorgänge „Bus“ + 1 zusätzlicher Ladevorgang „On-Demand“)	1.166 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen mit voller Leistung (nach Lastgangoptimierung)	5
Fahrzeugzahl (+ Reserve)* (= Anzahl Ladeplätze)	24 (+4) Solobus 12m
	--- Gelenkbus
	--- Midibus
	6 (+1) Kleinbus
Empfohlener MS/NS Transformator**	1.630 kVA (1.000 + 630 kVA)

* Reserve abgeschätzt mit pauschal 15 %

** Arbeitspunkt Transformator ca. 70-80 % der Nennleistung

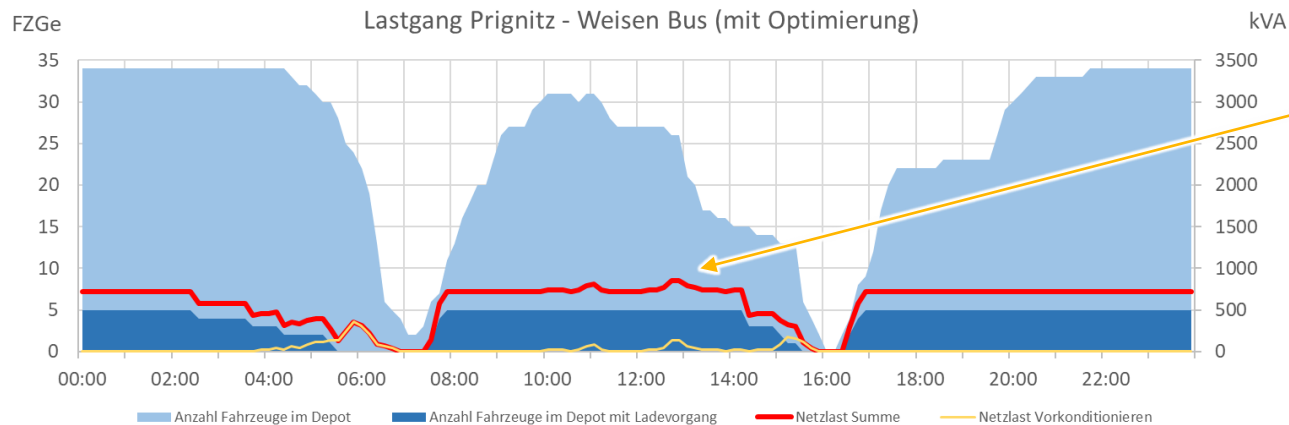
Konzeptentwurf (alle Systemteile sind vollumfänglich fester Bestandteil des Konzepts)	
1. Systemteil (für Solobusse)	
Anzahl	3 Systeme
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Systemteil (für Solobusse)	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 4
3. Systemteil (für Kleinbusse)	
Anzahl	1 System
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8

Lastgänge Standort Weisen (nur Bus; mit & ohne Optimierung)



Lastspitze vor Optimierung

2.889 kVA



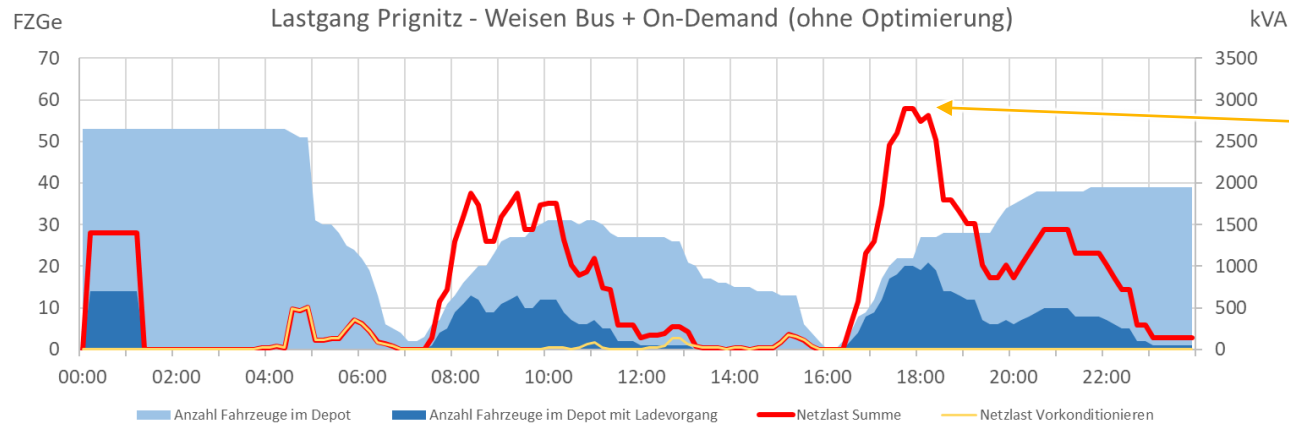
Lastspitze nach Optimierung

856 kVA (- 70 %)

Laut ENB ist am Standort eine ausreichende
Mittelspannungsanbindung möglich. Realisierbar
ist eine Netzanbindung mit

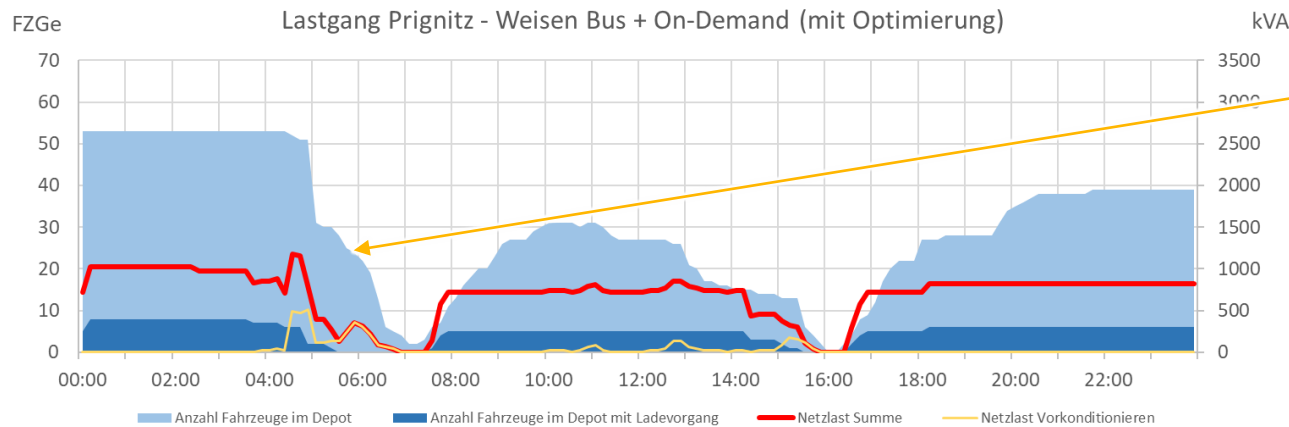
4.000 kVA

Lastgänge Standort Weisen (Bus & On-Demand; mit & ohne Optimierung)



Lastspitze vor Optimierung

2.889 kVA



Lastspitze nach Optimierung

1.178 kVA (- 59 %)

Laut ENB ist am Standort eine ausreichende
Mittelspannungsanbindung möglich. Realisierbar
ist eine Netzanbindung mit

4.000 kVA

Ladeinfrastrukturkonzept Standort Weisen

Parameter für Konzeptionierung	
Max. Ladeleistung pro Bus	130 kW (90 kW für Kleinbusse)
Lastspitze nach Optimierung	1.178 kVA
Lastspitze inklusive Reserve (+ 3 zusätzliche Ladevorgänge „Bus“ + 2 zusätzlicher Ladevorgang „On-Demand“)	1.811 kVA
Max. Anzahl gleichzeitiger Ladungen mit voller Leistung (nach Lastgangoptimierung)	8
Fahrzeugzahl (+ Reserve)* (= Anzahl Ladeplätze)	34 (+5) Solobus 12m
	--- Gelenkbus
	--- Midibus
	19 (+4) Kleinbus
Empfohlener MS/NS Transformator**	2.500 kVA (2 x 1.000 + 500 kVA)

* Reserve abgeschätzt mit pauschal 15 %

** Arbeitspunkt Transformator ca. 70-80 % der Nennleistung

Konzeptentwurf (alle Systemteile sind vollumfänglich fester Bestandteil des Konzepts)	
1. Systemteil (für Solobusse)	
Anzahl	5 Systeme
Pro System	Systemleistung = 400 kW Anzahl Ladepunkte = 8
2. Systemteil (für Kleinbusse)	
Anzahl	3 System
Pro System	Systemleistung = 200 kW Anzahl Ladepunkte = 8

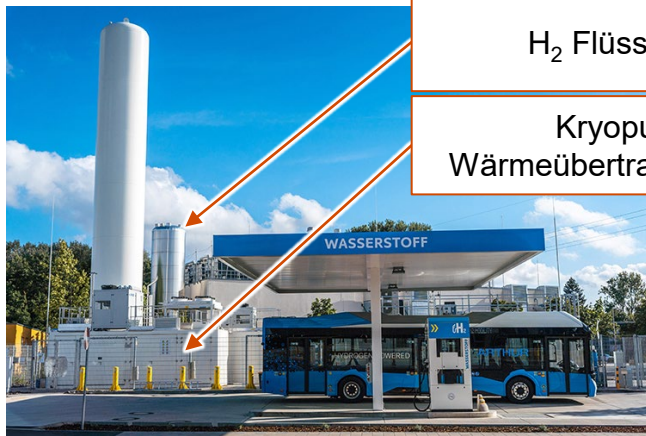


Energiekonzept

Wasserstoff-Tankinfrastruktur



H₂ Tankanlage mit Flüssigwasserstoffspeicher oder Trailer-Anlieferung von gasförmigen H₂



H₂ Flüssigspeicher

Kryopumpen & Wärmeübertrager/Verdampfer

Speicherbänke

Verdichter

2 x 1,25 t H₂ Trailerplatz
(Anbindung über Trailer-Wechselbrücke)



H₂ Tankstelle mit Flüssiggasspeicher

- Größenordnung: Typ. 100 Fahrzeuge pro Tag
- Durchsatz: $\geq 2,5$ t H₂ pro Tag
- Anlieferkapazität pro Trailer $\approx 3,3$ t H₂
- Höhere H₂ Bezugskosten aufgrund energieintensiver Verflüssigung

H₂ Tankstelle mit Trailerbrücke (gasförmiger H₂)

- Größenordnung: Typ. 25 Fahrzeuge pro Tag
- Durchsatz: ≈ 600 kg H₂ pro Tag
- Anlieferkapazität pro Trailer $\approx 1,25$ t H₂
- Hoher Logistikaufwand aufgrund höherfrequenter Anlieferung

Im Landkreis Prignitz scheinen beide Alternativen erforderlich, da die Anforderungen an beide Betriebshöfe merklich voneinander abweichen

H₂-Infrastrukturkonzept Standort Falkenhagen

Parameter für Konzeptionierung	
Zeitintervall Tankvorgang (angesetzt)	15 min
Anzahl Tankvorgänge zwischen Einzelumläufen („am Tag“)	Keine
Anzahl Tankvorgänge nach Betriebsende („über Nacht“)	24
Maximale Anzahl paralleler Tankvorgänge (nach Plan)	1
Tägliche Wasserstoffmenge (Schultag) unter Winterbedingungen	386 kg
Empfohlene minimale Lagermenge (für 3 Betriebstage)	1.158 kg

Konzeptentwurf	
H ₂ Aggregatzustand bei Speicherung	gasförmig
Zapfstellenanzahl	≥ 2 (besser: 3 für Redundanz)
Speicherung	2 x GH2 Trailer mit Wechselbrücke
Trailerkapazität	1.250 kg

Falls H₂ Midibusse langfristig verfügbar sein sollten, kann der erwartete H₂ Bedarf (≈ 38 kg am Schultag) über die Tankanlage ebenfalls abgedeckt werden.

Bei Realisierung des On-Demand Verkehrs mit BEV muss die zugehörige Ladeinfrastruktur aus dem (elektrischen) Ladeinfrastrukturkonzept vorgesehen werden.

➔ Siehe dort jew. „Systemteil für Kleinbusse“

H₂-Infrastrukturkonzept Standort Weisen

Parameter für Konzeptionierung	
Zeitintervall Tankvorgang (angesetzt)	15 min
Anzahl Tankvorgänge zwischen Einzelumläufen („am Tag“)	Ca. 2
Anzahl Tankvorgänge nach Betriebsende („über Nacht“)	34
Maximale Anzahl paralleler Tankvorgänge (nach Plan)	1
Tägliche Wasserstoffmenge (Schultag) unter Winterbedingungen	725 kg
Empfohlene minimale Lagermenge (für 3 Betriebstage)	2.175 kg

Konzeptentwurf	
H ₂ Aggregatzustand bei Speicherung	flüssig
Zapfstellenanzahl	≥ 2 (besser: 3 für Redundanz)
Speicherung	LH2 Tank ≥ 2,5 t
Trailerkapazität	> 3.000 kg

Falls H₂ Midibusse langfristig verfügbar sein sollten, kann der erwartete H₂ Bedarf (≈ 38 kg am Schultag) über die Tankanlage ebenfalls abgedeckt werden.

Bei Realisierung des On-Demand Verkehrs mit BEV muss die zugehörige Ladeinfrastruktur aus dem (elektrischen) Ladeinfrastrukturkonzept vorgesehen werden.

➔ Siehe dort jew. „Systemteil für Kleinbusse“

Zeitsumme Tankvorgänge

nur zur internen
Verwendung

Anzahl paralleler Dispenser	Standort Falkenhagen		Standort Weisen	
	Zwischentanken in Betriebspause am Tag	Übernachtanken nach Betriebsende	Zwischentanken in Betriebspause am Tag	Übernachtanken nach Betriebsende
Betankung mit 2 parallelen Dispensern	07:40 – 11:00	15:40 – 20:50	07:40 – 12:40	16:30 – 22:20
Betankung mit 3 parallelen Dispensern	07:40 – 10:00	16:00 – 20:50	07:40 – 11:20	16:30 – 22:10

„Zwischentanken am Tag“ ist bis auf einen Einzelfall (Weisen) optional. Hier ist ein einzelner Tankvorgang an Tagen mit hohem Energieverbrauch vrsl. erforderlich. Darüber hinaus kann der Energiebedarf vollständig „über Nacht“ nachgetankt werden

Eine weitere Erhöhung der Dispenser-Anzahl hat keinen Effekt auf die „übernächtlche“ Tankdauer, da bei drei Dispensern der letzte einrückende Bus bereits unmittelbar nach Ankunft (und Rangierzeit) die Betankung beginnt.

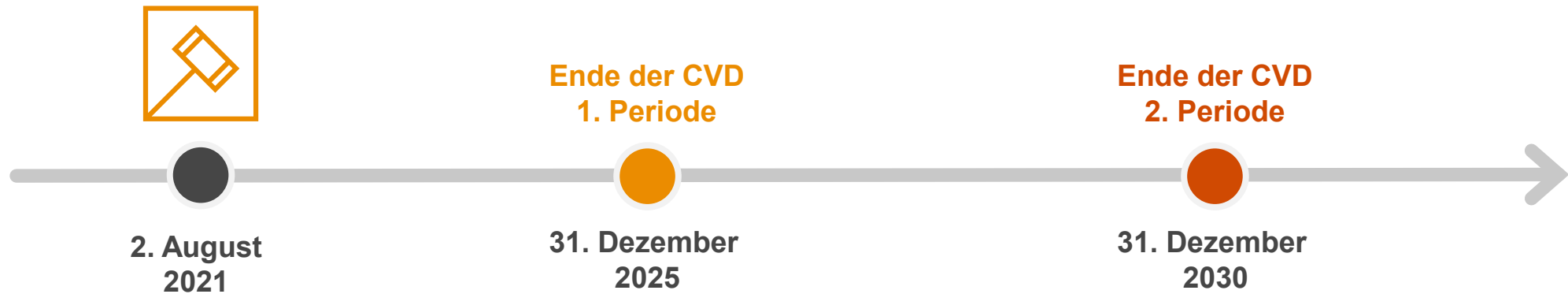
Disclaimer

- Die Gegenüberstellung erfolgt auf Wunsch des Kunden und dient der Abschätzung wie lange ein „Tankwart“ für die Betankung der FCEV erforderlich ist.
- Grundlage sind die Umlaufdaten und gewählten Fahrzeugtypen der Machbarkeitsstudie im Worst Case Szenario, mit harten Fahranforderungen und hohen Energiebedarfen pro Tag.
- Die On-Demand Flotte ist hier nicht berücksichtigt, da aktuell kein entsprechendes Modell am Markt ist.
- Die Betankungsdauer wird unabhängig vom tatsächlichen Betankungsbedarf mit 15 Minuten angesetzt. Das Berechnungsmodell basiert auf einer zeitdiskreten Berechnungsvorschrift mit 10-minütiger Schrittweite. Die „Rundung“ erfolgt so, dass die Zeitdifferenz die Betankungsvorgänge „verlängert“ und kann als Reservezeit verstanden werden.

Fokusthema

Regulatorische Anforderungen

Die Clean Vehicles Directive (CVD) setzt verbindliche Mindestquoten für saubere & emissionsfreie Fahrzeugbeschaffungen Richtlinie (EU) 2019/1161



- ➔ **Ziel:** Mindestquoten für die Beschaffung sauberer und emissionsfreier Fahrzeuge der öffentlichen Hand
- ➔ kein theoretisches Klimagesetz, **wirkt über Vergaben** (insb. Busbeschaffungen und Verkehrsverträge)
- ➔ Umsetzung in deutsches Recht mit dem **Saubere-Fahrzeug-Beschaffungs-Gesetz** (SaubFahrzeugBeschG)

Der persönliche Anwendungsbereich der CVD umfasst einen großen Teil des heutigen ÖPNV

Persönlicher Anwendungsbereich



Öffentliche Auftraggeber

(Gemeinde, Kreis, Zweckverband, AöR)



Sektorauftraggeber

(Konzessionierte Verkehrsunternehmen)



Auftragunternehmer / Subunternehmer

Subunternehmer werden mittelbar über Verkehrsvertrag verpflichtet; es sind die CVD-Vorgaben für den öDA gesamthaft zu beachten

Sachlicher Anwendungsbereich

1

Verträge über den Kauf, das Leasing, die Anmietung oder den Ratenkauf

2

Öffentliche Dienstleistungsaufträge im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 (Direktvergabe, Inhouse-Vergabe sowie wettbewerbliche Vergabe)

3

Dienstleistungsaufträge über Verkehrsdienste bei Verpflichtung zur Anwendung der Vergabe-richtlinien (Subunternehmerverträge, freigestellter Schulverkehr)

Die aktualisierte Clean Vehicles Directive (CVD) beinhaltet umfangreiche Vorgaben für die öffentliche Beschaffung von Straßenfahrzeugen – Richtlinie (EU) 2019/1161



leichte Nutzfahrzeuge

Fahrzeugklassen M₁, M₂, N₁



schwere Nutzfahrzeuge

Fahrzeugklassen N₂, N₃



Busse (ohne Reisebusse) Fahrzeugklasse M₃ → nur Klasse I und A



M₁ Personenbeförderung
max. 8 Sitzplätze (ohne Fahrer)

M₂ Personenbeförderung
mehr als 8 Sitzplätze (ohne Fahrer)
zulässige Gesamtmasse bis 5 t

N₁ Güterbeförderung
zulässige Gesamtmasse bis 3,5 t

N₂ Güterbeförderung
zulässige Gesamtmasse 3,5 t -12 t

N₃ Güterbeförderung
zulässige Gesamtmasse größer 12 t

M₃ Personenbeförderung
mehr als 22 Sitzplätze (ohne Fahrer)
zulässige Gesamtmasse größer 5 t
Stadtbusse

CVD-Vorgaben:

Gelten für **38,5 %** der beschafften Fahrzeuge

Periode 1:

- max. **50 g CO₂/km**
- max. 80 % der Luftschadstoffemissionsgrenzwerte im Fahrbetrieb

Periode 2:

- **0 g CO₂/km**
- „emissionsfreie“ Fahrzeuge

CVD-Vorgaben:

Periode 1:

- min. **10 %** der beschafften Fahrzeuge „sauber“

Periode 2:

- min. **15 %** der beschafften Fahrzeuge „sauber“

CVD-Vorgaben:

Periode 1:

- min. **22,5 %** der beschafften Fahrzeuge „sauber“
- min. **22,5 %** „emissionsfrei“

Periode 2:

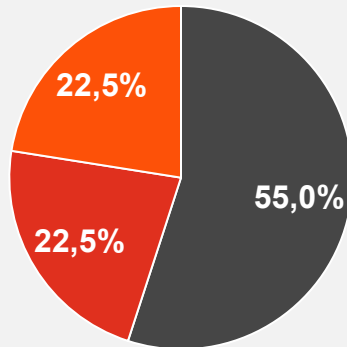
- min. **32,5 %** der beschafften Fahrzeuge „sauber“
- min. **32,5 %** „emissionsfrei“

Im Mai 2021 wurde das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz (SaubFahrzeugBeschG) zur nationalen Umsetzung der CVD beschlossen – die 1. Referenzperiode lief bis Ende 2025

2. August 2021 bis Ende 2025

insgesamt mind.
45 % sauber

davon mind. die Hälfte
emissionsfrei (22,5 %)

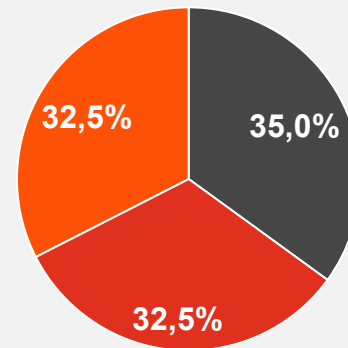


■ konventionell ■ sauber ■ emissionsfrei

1. Januar 2026 bis Ende 2030

insgesamt mind.
65 % sauber

davon mind. die Hälfte
emissionsfrei (32,5 %)



■ konventionell ■ sauber ■ emissionsfrei

„Saubere“ Antriebe:



Elektrizität
(auch Plug-in-Hybrid)



Flüssiggas



Wasserstoff

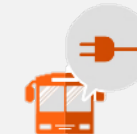


Erdgas
(inkl. Biomethan)
CNG und LNG



Biokraftstoffe
(HVO100)

„Emissionsfreie“ Antriebe:



Wie zählt die CVD?



- abgerechnet wird am Ende...
der jeweiligen Periode
- kumulierte Betrachtung der Beschaffungen
innerhalb der jeweiligen Periode
- Bund hat die Verantwortung auf Länder
„weitergegeben“ → Branchenvereinbarung
(nur) für 1. Periode (Ende 2025)
- bislang keine Strafzahlung für Verkehrs-
unternehmen und Aufgabenträger in
Deutschland

konzessioniertes Verkehrsunternehmen

(als Sektorenauftraggeber)



Fahrzeugbeschaffungen

innerhalb der jeweiligen Referenzperiode

Aufgabenträger



öffentliche Dienstleistungsaufträge

innerhalb der jeweiligen Referenzperiode



geplante Einsatzflotte für öDAs



Fahrzeuge der Auftrag(-unter)nehmer

Welche Spielräume lässt die CVD zu? Ein (fiktives) Rechenbeispiel...



Aus Sicht des Aufgabenträgers (fiktives Beispiel)

- Vergabe von 4 Linienbündeln bis Ende 2030 mit insgesamt **100 Bussen** im Einsatz
- jeweils **32,5 %** Quote emissionsfrei und sauber
- **= 65 Busse** der eingesetzten Busse sauber & emissionsfrei
- Aufteilung kann „frei“ gewählt werden
- Abrechnung am Ende der Periode (Ende 2030)
- **entscheidend ist die bei Vertragsschluss definierte Fahrzeugflotte**

CVD-Aufteilung Variante A

<u>LB 1</u>	<u>LB 2</u>	<u>LB 3</u>	<u>LB 4</u>
Σ 25 Fzg.	Σ 25 Fzg.	Σ 25 Fzg.	Σ 25 Fzg.
- 8 Fzg. sauber	- 8 Fzg. sauber	- 8 Fzg. sauber	- 9 Fzg. sauber
- 8 Fzg. emiss.frei	- 8 Fzg. emiss.frei	- 8 Fzg. emiss.frei	- 9* Fzg. emiss.frei
„Rest“ Diesel			

CVD-Aufteilung Variante B

<u>LB 1</u>	<u>LB 2</u>	<u>LB 3</u>	<u>LB 4</u>
Σ 25 Fzg.	Σ 25 Fzg.	Σ 25 Fzg.	Σ 25 Fzg.
- 0 Fzg. sauber	- 10 Fzg. sauber	- 5 Fzg. sauber	- 17 Fzg. sauber
- 0 Fzg. emiss.frei	- 10 Fzg. emiss.frei	- 20 Fzg. emiss.frei	- 3 Fzg. emiss.frei
„Rest“ Diesel			

...weitere CVD-Aufteilungen möglich!

HVO100 bietet die Möglichkeit Teile der CVD zu erfüllen, ohne eine grundlegende Anpassung der Infrastruktur vornehmen zu müssen



HVO100 = Dieselerersatz: Drop-in-Kraftstoff für viele bestehende Dieselfahrzeuge.



CVD-anrechenbar: Erfüllung der **sauberen** CVD-Quote durch Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe möglich.



Auch für Gebrauchtbusse: CVD-Quote kann mit umgestellten Bestandsfahrzeugen erreicht werden.



Einschränkung Sektoren-AG: Dort ist zur Quotenerfüllung ein Neufahrzeug erforderlich.



§ 2 SaubFahrzG: HVO100 fällt unter die Definition „sauberes Fahrzeug“.



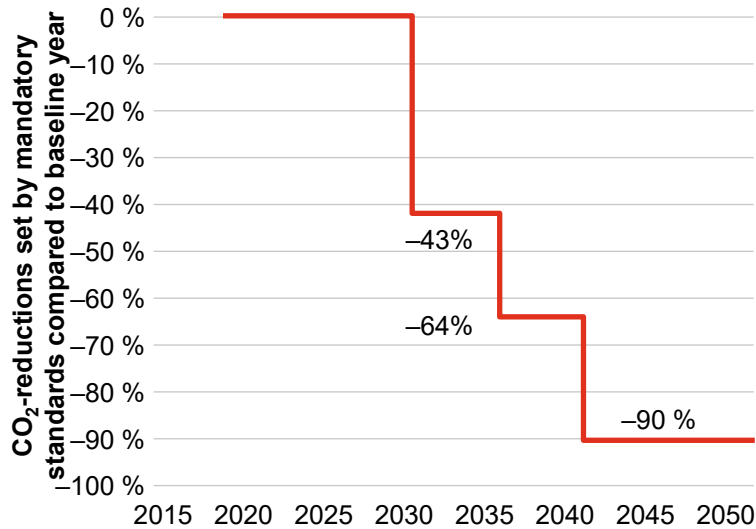
Schnelle CO₂-Reduktion: Brückentechnologie bis E- oder H₂-Busse (wirtschaftlich) einsetzbar sind.

HVO100 Hydrotreated Vegetable Oil 100

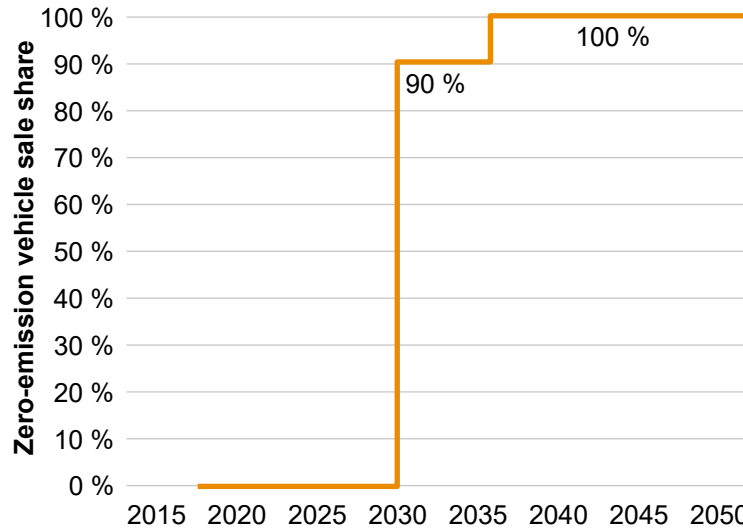


Die überarbeiteten EU-CO₂-Flottengrenzwerte für Busse und Nutzfahrzeuge setzen scharfe Ziele für Hersteller und haben langfristig Auswirkungen auf das Marktangebot

Newly added trucks, coaches, and interurban buses
(percentage relative to 2025 reporting period)



Newly added city buses
(share of vehicle sales that must be zero-emission)



Verordnung (EU) 2024/1610 des europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Mai 2024 – gültig ab 1. Juli 2024



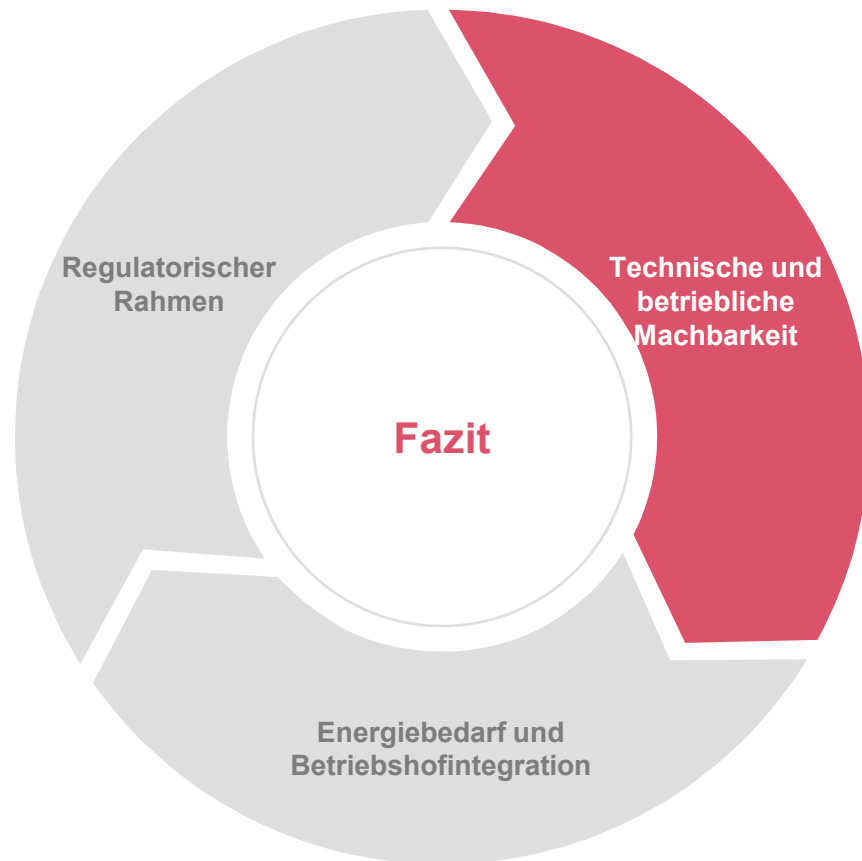
Zudem Vorgaben für die Sicherstellung nachhaltiger und resilienter Lieferketten für Stadtbusse in öffentlichen Vergabeverfahren (Artikel 3 e)

Quelle: https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/05/ID-130-%E2%80%9993-EU-CO2_policy_update_final.pdf

Betrachtungsumfang	Fahrzeugart	Fahrzeuggruppe	Bruttogewicht des Fahrzeugs (t)	Achsen-Konfiguration	2025	2030	2035	2040	Referenzzeitraum (Basisjahr)
Emissionsreduktion	Reisebusse und Überlandbusse	32-C2, 32-C3, 32-DD, 34-C2, 34-C3, 34-DD, 31-L2, 33-L2	> 3.5	2- und 3-Achsen	0 %	43 %	64 %	90 %	2025
	Hauptfahrzeuge von Reise- und Überlandbussen		> 3.5	2- und 3-Achsen					
in der EU-zugelassene Fahrzeuge	Stadtbusse	31-LF, 31-L1, 31-DD, 33-LF, 33-L1, 33-DD, 35-FE, 39-FE	> 3.5	2-, 3- und 4- Achsen	0 %	90 %	100 %	100 %	

Fazit

Technische und betriebliche Machbarkeit

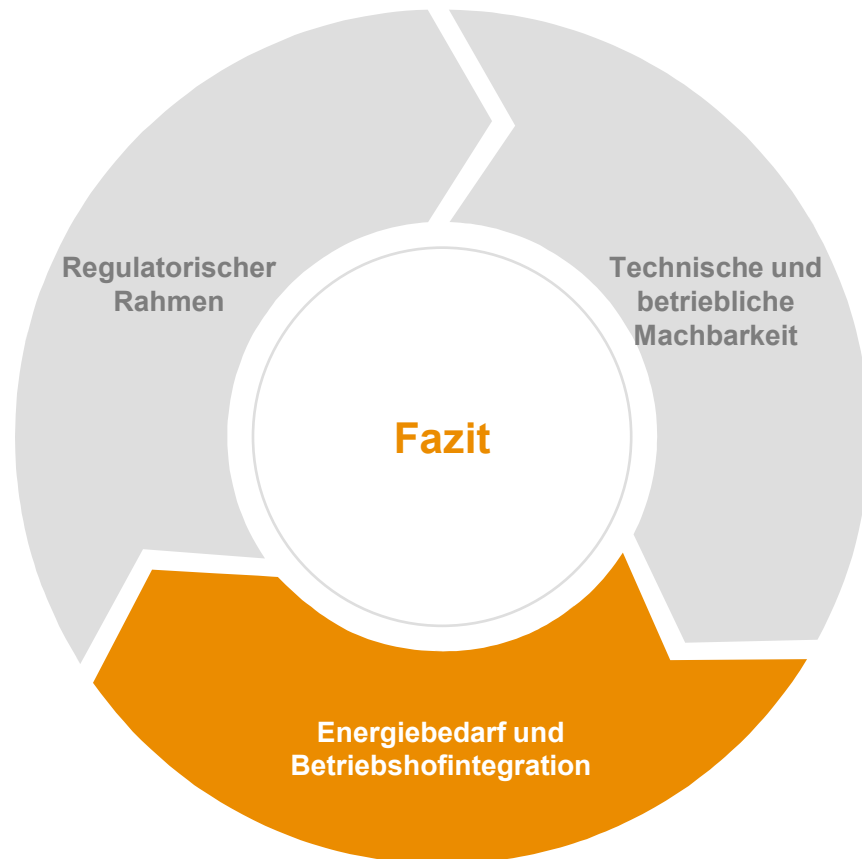


Technische und betriebliche Machbarkeit

- Die Analyse zeigt, dass **alle geplanten Umläufe sowohl mit batterieelektrischen Bussen als auch mit Brennstoffzellenbussen bereits heute technisch umsetzbar sind.**
- Die Reichweitenpotenziale aktueller Batterie- und Brennstoffzellenbusse liegen deutlich über den Fahranforderungen aus den Umlaufdaten.
- Auch bei der **Verkettung von Einzel- zu Fahrzeugtagesumläufen** ergeben sich keine Einschränkungen: Nachladung bzw. Nachbetankung ist zeitlich unkritisch, zusätzliche Fahrzeuge werden nicht benötigt.
- Optimierungs- oder Alternativtechniken sind auf Basis der Umlaufstruktur **nicht erforderlich.**

Fazit

Energiebedarf und Betriebshofintegration



Energiebedarf und Betriebshofintegration

- Bei vollständiger Dekarbonisierung der Flotte entstehen **relevante, aber beherrschbare Energiebedarfe** an den Standorten Falkenhagen und Weisen.
- Für BEV wurde ein **jährlicher Strombedarf von insgesamt rund 4,3 GWh** ermittelt; für FCEV ein **Wasserstoffbedarf von rund 243 t p. a.**
- Durch Lastgangoptimierung können die elektrischen Lastspitzen an beiden **Betriebshöfen um rund 60–70 % reduziert** werden – ein zentraler Hebel zur Begrenzung von Netzanschluss- und Leistungskosten.
- Die vorgesehenen **modularen Ladeinfrastrukturkonzepte (Matrix-Ladesysteme)** erlauben einen schrittweisen, flexiblen Ausbau.
- Für Wasserstoff wurden zwei technisch realisierbare Versorgungsoptionen betrachtet (gasförmig per Trailer bzw. Flüssigwasserstoff), deren Eignung standortabhängig zu bewerten ist.

Fazit

Regulatorischer Rahmen



Regulatorischer Rahmen

- Die Anforderungen aus der **Clean Vehicles Directive (CVD)** und dem **Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz (SaubFahrzeugBeschG)** machen eine schrittweise Umstellung auf saubere und emissionsfreie Fahrzeuge **verbindlich erforderlich**.
- In der zweiten Referenzperiode (2026–2030) sind **mindestens 65 % saubere Fahrzeuge**, davon **32,5 % emissionsfrei**, zu erreichen (kumulierte Betrachtung).
- **HVO100** kann kurzfristig als **Brückentechnologie** zur Erfüllung der „sauberen“ Quote eingesetzt werden, ohne infrastrukturelle Anpassungen zu erfordern
- Die **EU-CO₂-Flottengrenzwerte** für Stadtbusse verschärfen sich deutlich und werden das Marktangebot langfristig klar in Richtung emissionsfreier Antriebe lenken.

Schlussfolgerungen



Die vorhandenen Umlauf- und Betriebsstrukturen sind **für beide Technologien geeignet**, ohne Mehrbedarf an Fahrzeugen oder grundlegende betriebliche Anpassungen.

Der Betriebshof Weisen scheint für BEV gut geeignet FCEV zu prüfen. Für den Standort Falkenhagen ist das verfügbare Grundstück für den erforderlichen Neubau **sehr gut geeignet**.

Die **Energie- und Infrastrukturbedarfe sind plan- und beherrschbar**, insbesondere durch Lastmanagement und modularen Ausbau. Die Netzanschlüsse sind im Zuge des Realisierungskonzepts wieder aufzugreifen.

Die regulatorischen Vorgaben aus dem SaubFahrzeugBeschG machen eine Transformation nicht nur klimaschutzseitig sinnvoll, sondern **rechtlich notwendig**.

3

AP3 –
Infrastrukturanforderungen
und -bedarfe



Betriebshofintegration



Kontextinformationen zum Vorgehen

nur zur internen
Verwendung

Einschränkungen

Die Betriebshofintegration wird auf Basis des zu Verfügung stehenden Materials ausgeführt. In diesem Kontext sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen

Standort Pritzwalk-Falkenhagen

Auslegung auf „grüner Wiese“ auf Basis von Luftbildern und daraus abgeleiteten Maßstäben

Standort Pritzwalk Gewerbegebiet Süd

Konzeptentwurf wird mit beispielhafter Platzierung ausgeführt. Abweichende Ausführungen sind grundsätzlich denkbar. Der Standort konnte nicht besichtigt werden (kein Bildmaterial vom Innenbereich verfügbar), weshalb die Bearbeitung auf Kundenangaben und Luftbilder zurückgeführt wird.

Standort Weisen

Analog zum Standort Pritzwalk Gewerbegebiet Süd erfolgt die Komponentenplatzierung hier auf Basis von Luftbildern und Kundenaussagen, da eine Ortsbegehung nicht möglich war und kein Bildmaterial vom Innenbereich zur Verfügung steht. Laut Information vom aktuellen Geländenutzer (VGP) ist eine Nachrüstung von Elektromobilität jedoch unkritisch. Es wird angeführt, dass Infrastruktur, Durchfahrten und ähnliches aufgrund der jahrzehntelangen Nutzung als Busdepot auch passend für Elektrobusse sind.

Standort Karstädt

Konzeptentwurf wird mit beispielhafter Platzierung ausgeführt. Abweichende Ausführungen sind grundsätzlich denkbar. Der Standort konnte nicht besichtigt werden (kein Bildmaterial vom Innenbereich verfügbar), weshalb die Bearbeitung auf Kundenangaben und Luftbilder zurückgeführt wird.

Folgende Standorte kommen für die Betriebshofanalyse in Betracht

Reisedienst Westprignitz GmbH

Stadttrandsiedlung 22
19322 Weisen
Flur 5, Flurstücksnummer 271/6



Grundstück bebaut (ARLA Gelände)

Mühlenstraße 11,
19357 Karstädt
ehemaliges ARLA-Gelände



Grundstück unbebaut

Rolf-Hövelmann-Straße
16928 Pritzwalk-Falkenhagen
Flur 2, Flurstücksnummer 251



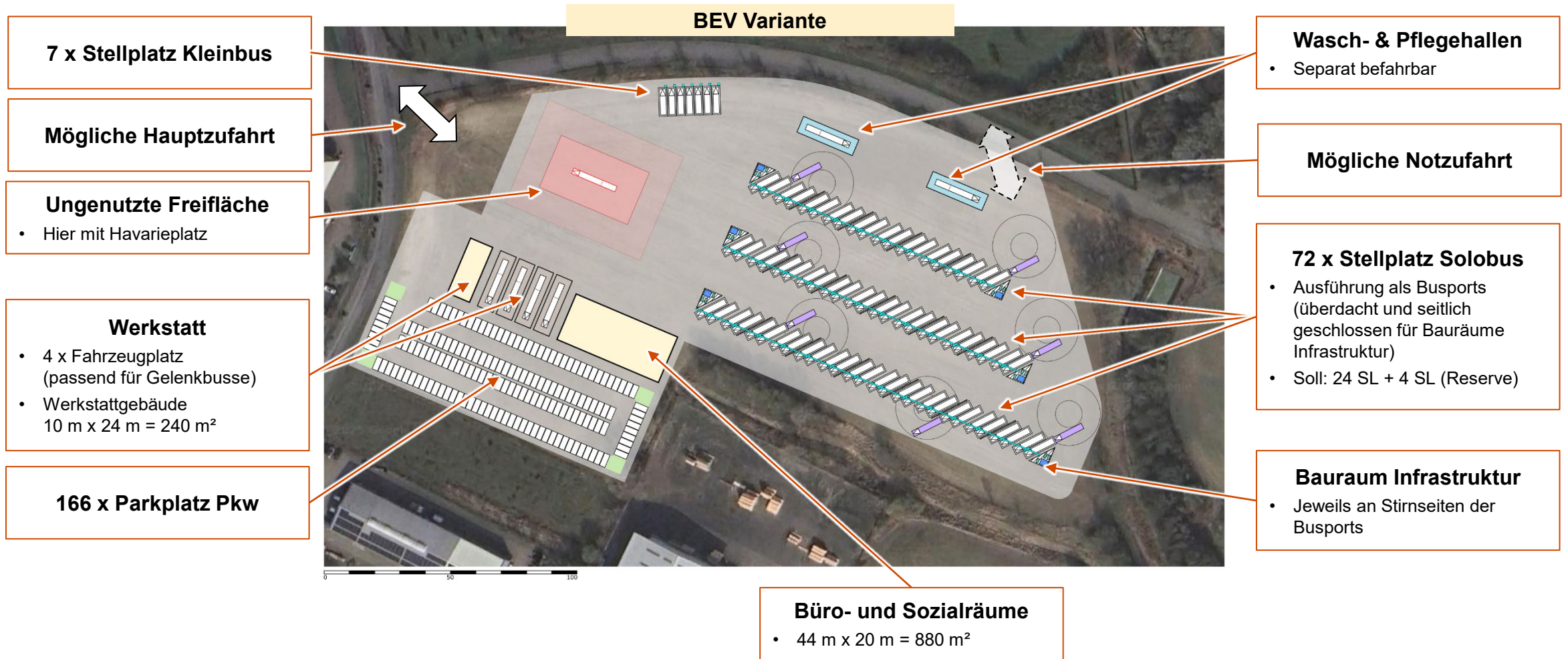
Grundstück unbebaut (Abfallkleinannahmestelle)

Hermann-Graebke-Straße 5,
16928 Pritzwalk
(5-10 Busse)



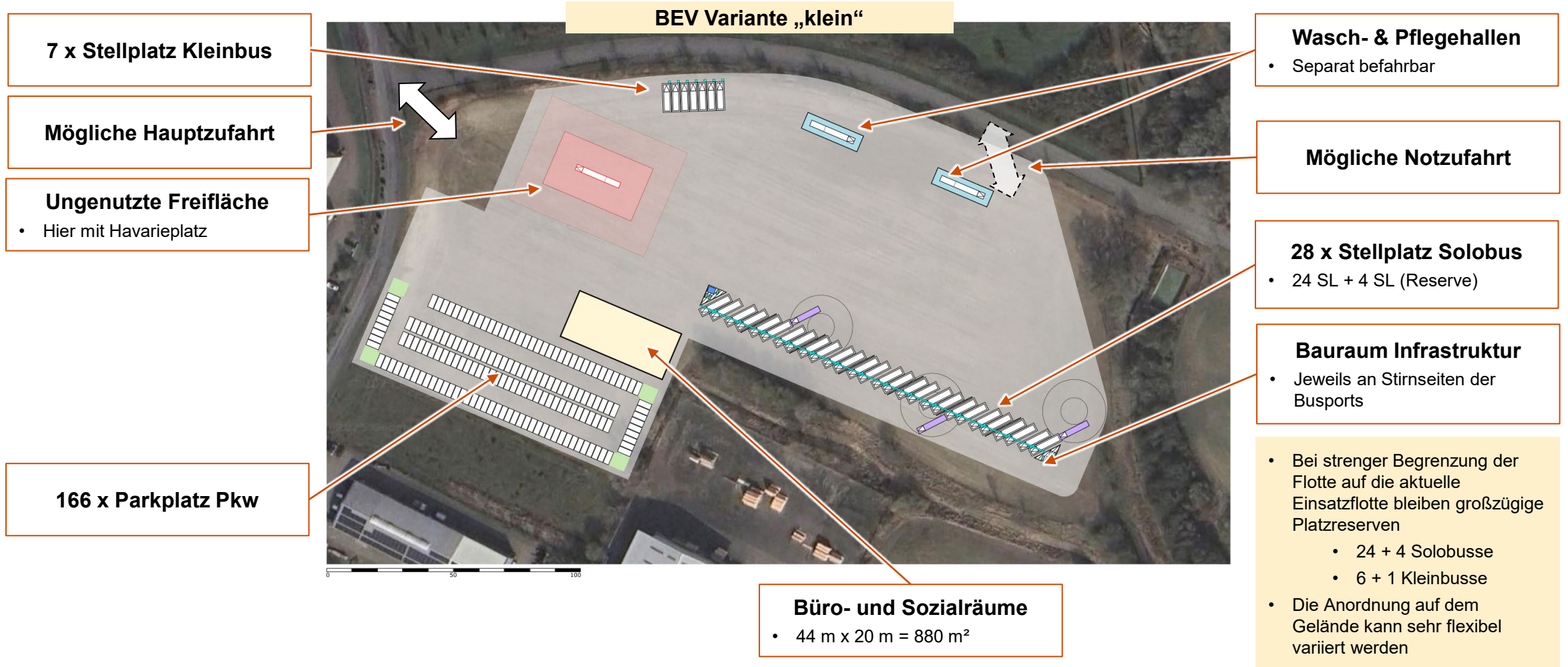
Betriebshofintegration Standort Pritzwalk-Falkenhagen

nur zur internen
Verwendung



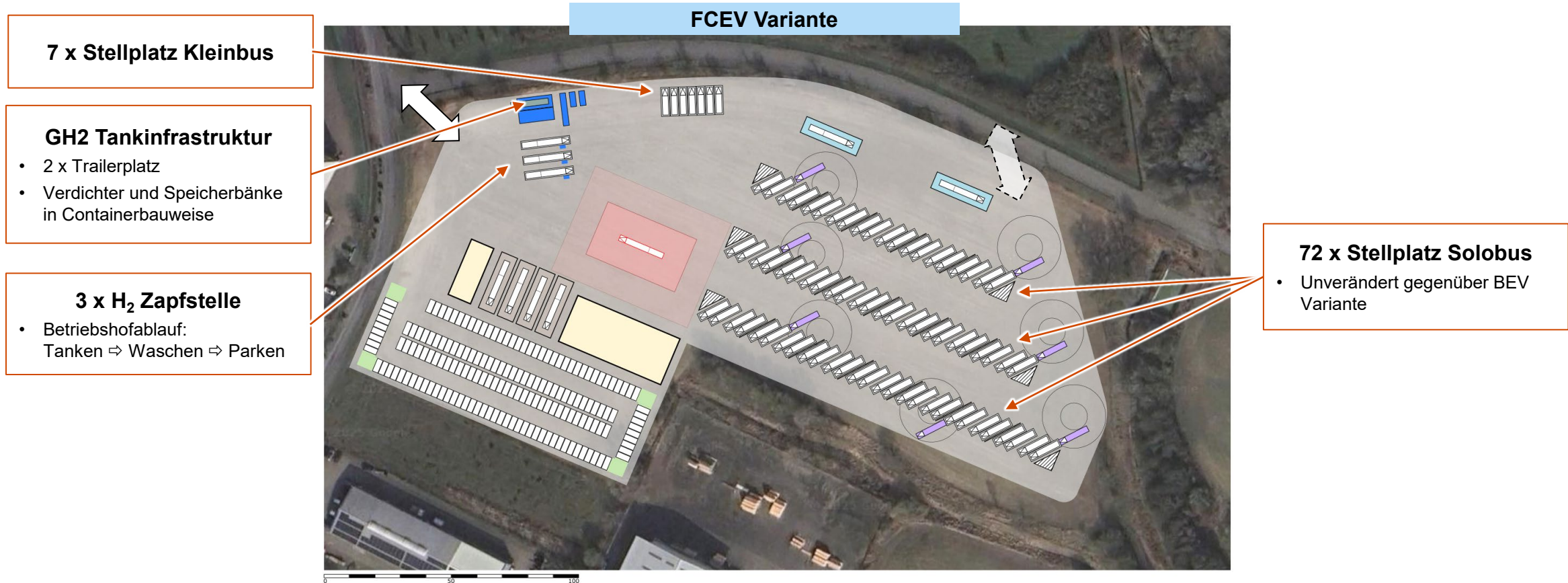
Betriebshofintegration Standort Pritzwalk-Falkenhagen

nur zur internen
Verwendung



Betriebshofintegration Standort Pritzwalk-Falkenhagen

nur zur internen
Verwendung



Betriebshofintegration Standort Pritzwalk-Falkenhagen

Kundeninformation

- Unbebautes Grundstück kann uneingeschränkt genutzt werden

Konzeptansatz

- Konzeptionierung auf „grüner Wiese“ mit
 - Werkstatt, Waschhalle, Pkw-Parkflächen sowie Sozial- und Bürogebäuden
 - Lade-Stellplätzen für mindestens 28 Solobusse und 7 Kleinbusse
- Stellplätze für Solobusse in Schrägabstellung mit Durchfahrmöglichkeit
 - Maximale Einsatzflexibilität („jeder Bus ist jederzeit erreichbar“)

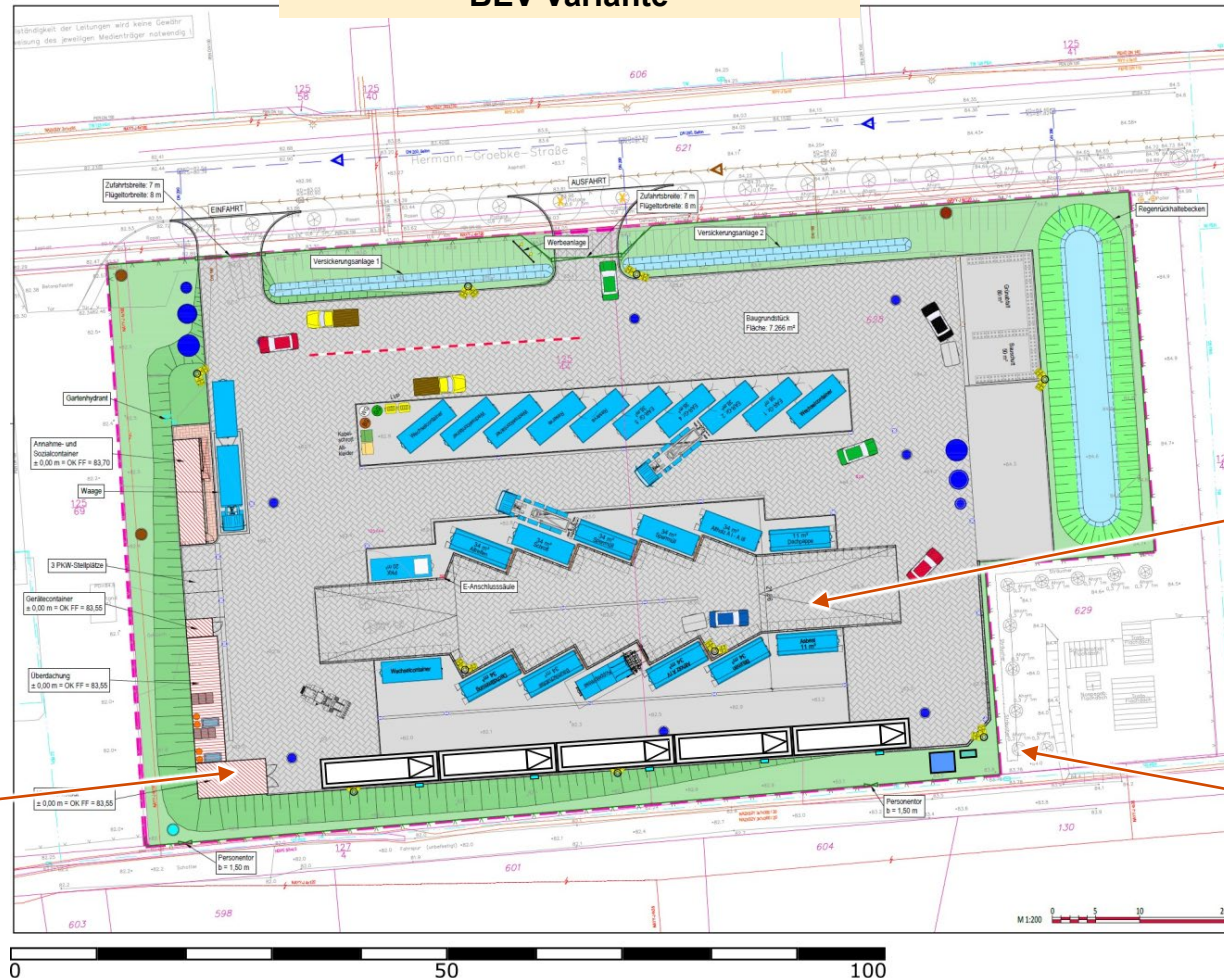
Einschätzung

- ➔ Sowohl **Ladeinfrastruktur** als auch **H₂ Tankinfrastruktur** kann gut auf dem Grundstück integriert werden
- ➔ **Sehr gut geeignet** als Betriebshof für Elektrobusse
- ➔ Unproblematischer Grundstückszuschnitt und großzügige Abmessungen
 - Ohne die Grundfläche maximal auszunutzen können mit 72 Solobussen und 7 Kleinbussen **deutlich mehr Fahrzeuge als erforderlich** verortet werden

Betriebshofintegration Standort Pritzwalk Gewerbegebiet Süd

nur zur internen
Verwendung

BEV Variante



Geländedenutzung

- Gelände wird als Abfallkleinannahmestelle genutzt
- Anmietung von 5 Stellplätzen im Gelände geplant

FCEV Variante

- Nicht relevant bei Miet-Stellplätzen
- Nicht realistisch abbildbar (fehlender Bauraum)

5 x Stellplatz Solobus

- Abstellung Reihe und am Grundstücksrand

Im Detail zu prüfen

- Fahrwege im Kurvenbereich erscheinen „knapp“ aufgrund Kleinwerkstatt

Bauraum Infrastruktur

- Beispielhaft platziert am Grundstücksrand

Betriebshofintegration Standort Pritzwalk Gewerbegebiet Süd

Kundeninformation

- Fünf angemietete Stellplätze ohne weitere Erweiterungsmöglichkeit
- Abstellung der Fahrzeuge in Reihe am Rand des Geländes ohne Überdachung
- Genauer Standort ist unbekannt

Konzeptansatz

- Entsprechend Vorgabe im südlichen Grundstücksbereich
 - Platzierung am Grünstreifen erscheint aufgrund Fahrwege (Wenderadien) kritisch
 - Fahrwege erscheinen „knapp bemessen“. Detaillierte Schleppkurvenanalyse empfohlen

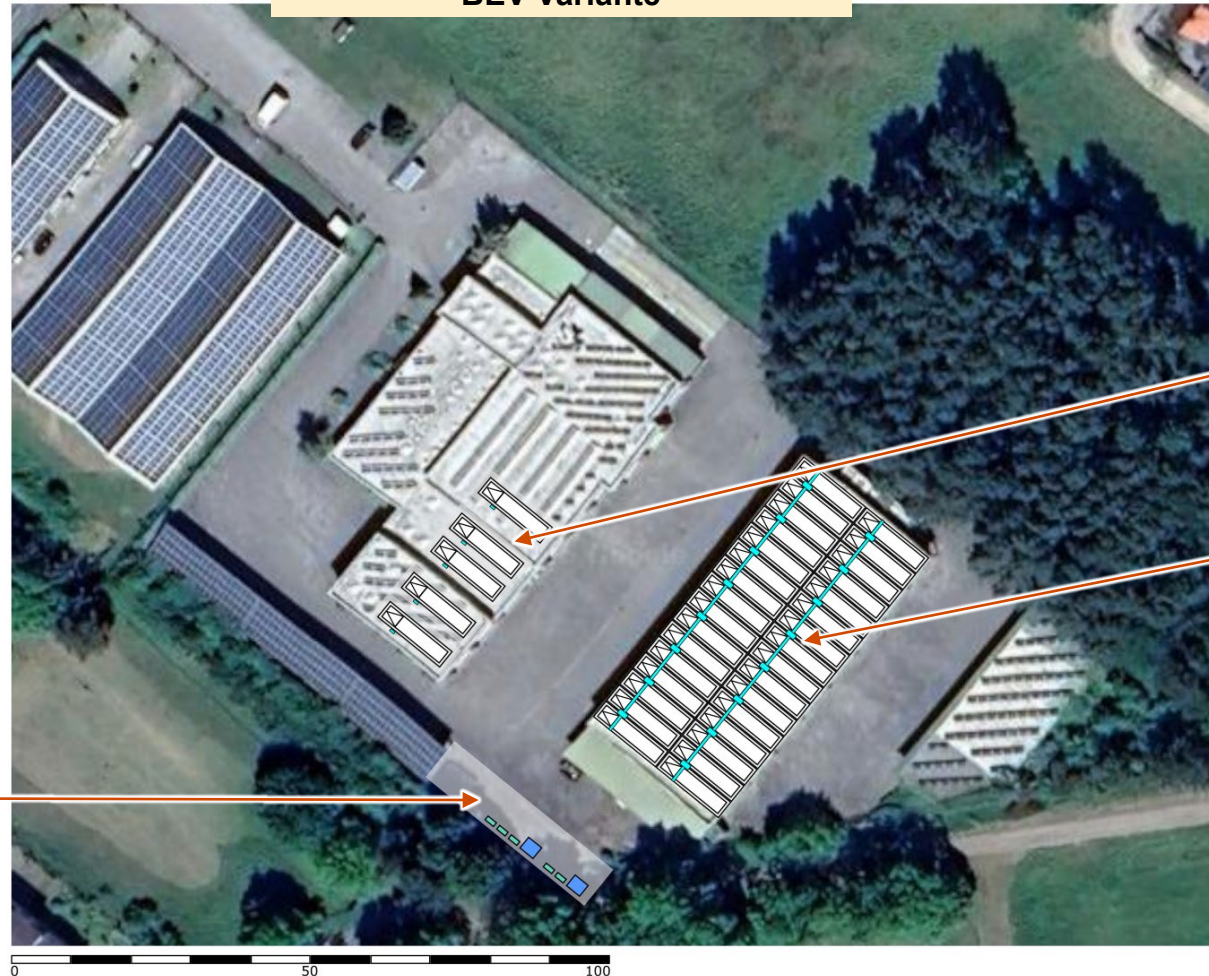
Einschätzung

- ➔ Platzierung von 5 Lade-Stellplätzen erscheint knapp aber denkbar
- ➔ Integration von Ladeinfrastruktur für abstellbare Fahrzeuge unkritisch (gestützt auf Kunden- und Mieteraussagen)
- ➔ Integration von H₂ Tankinfrastruktur nicht möglich (fehlender Bauraum)
- ➔ Bei Neubau von Pritzwalk-Falkenhagen ist Abstellung von 12m Bussen im Gewerbegebiet nicht erforderlich
 - Nach Umlaufplanung sind alle Busse dem Standort Pritzwalk-Falkenhagen zugeordnet
 - Standort Gewerbegebiet Süd kann jedoch grundsätzlich eine **gute Option für On-Demand Busse** darstellen

Betriebshofintegration Standort Weisen

nur zur internen
Verwendung

BEV Variante



FCEV Variante

- Nicht realistisch abbildbar bei gegebenem Informationsstand (fehlender Bauraum)
- Möglich: Detailprüfung mit Ortsbegehung, ob H₂ Tankinfrastruktur integrierbar ist
- Allerdings: Bauraum-Anforderungen sind bei LH2 Tankanlage tendenziell hoch

Bauraum Infrastruktur

- Beispielhaft platziert am Grundstücksrand

Geländedenutzung

- Gelände wird Betriebshof durch die VGP genutzt

5 x Stellplatz Solobus

- In vorhandenen Hallen, genauer Standort unklar

32 x Stellplatz Solobus

- Abstellung in Busport (vorhanden)

Standort Weisen

Kundeninformation

- Abstellung von 30 bis 35 Bussen aufgeteilt in
 - Busport mit ca. 30 Fahrzeuge in Doppelspuren mit zwei Solobussen hintereinander
 - ➔ Aufgerundet auf 32 Busse (Menge muss durch 4 teilbar sein bei Doppelspuren mit zwei Bussen in Reihe)
 - Hallenabstellung von 5 Fahrzeugen an unbekanntem Standorten
- Laut aktuellem Mieter (VGP) kann Elektromobilität nachgerüstet werden. Infrastruktur, Durchfahrten und ähnliches sind aufgrund der jahrzehntelangen Nutzung als Busdepot passend für Elektrobusse
 - Wichtig: Elektrobusse haben andere Abmessungen als Dieselbusse und erfordern seitliche Abstände für Ladestecker, ohne Fluchtwege zu stören
 - Wichtig: Brandschutzmaßnahmen werden ggf. vom Versicherer gefordert

Konzeptansatz

- Entsprechend Vorgaben und Kundeninformation

Einschätzung

- ➔ **Abstellung** von 32 + 5 Solobussen **reicht nicht für Fahrzeugliste** laut Umlaufplan

- Erforderlich: 34 Solobusse (+ **Reserve**) und 19 Kleinbusse (+ **Reserve**)



- ➔ Integration von Ladeinfrastruktur für abstellbare Fahrzeuge unkritisch (gestützt auf Kunden- und Mieteraussagen)
- ➔ Integration von H₂ Tankinfrastruktur problematisch aufgrund fehlender Freiflächen. Detailprüfung erforderlich

Betriebshofintegration Standort Karstädt

nur zur internen
Verwendung

BEV Variante



FCEV Variante

- Bauräume grundsätzlich vorhanden (abhängig von Geländenutzung und geplanter Fahrzeugabstellung)
- Für Standort hier nicht relevant, da dem Standort keine Umläufe zugeordnet sind

Bauraum Infrastruktur

- Beispielhaft platziert neben Abstellfläche

Geländenutzung

- Ehemaliges ARLA-Gelände wurde als Milchlage genutzt
- Aktuelle Nutzung als Abstellfläche

10 x Stellplatz Solobus

- Zum Beispiel auf Grünfläche
- Weitere Varianten denkbar, abhängig von Geländenutzung

Standort Karstädt (ARLA Gelände)

Kundeninformation

- Stellplatzsituation unklar. Vermutlich über das Gelände verteilt und nicht überdacht
- Verteilte Abstellung für elektrische Ladeinfrastruktur ungünstig (lange Leitungswege), aber für nur 10 Fahrzeuge grundsätzlich darstellbar
 - Höherer Bauaufwand muss in Kauf genommen werden

Konzeptansatz

- Zusammenhängender Abstellung im Freibereich zwischen den Hallen
- Verteilung im Freibereich nicht dargestellt, da die Platzierung ohne nähere Informationen beliebig im Gelände erfolgen kann

Einschätzung

- ➔ Platzierung von 10 Lade-Stellplätzen erscheint auf Basis vorliegender Informationen möglich
 - Evaluierung bei genauer Kenntnis der Geländenutzung erforderlich
- ➔ Integration von H₂ Tankinfrastruktur erscheint auf Basis vorliegender Informationen grundsätzlich denkbar
 - Bauräume scheinen vorhanden. Evaluierung bei genauer Kenntnis der Geländenutzung erforderlich
- ➔ Im aktuellen Umlaufkonzept sind lediglich Betriebshöfe in Pritzwalk-Falkenhagen und Weisen enthalten
 - Standort Karstädt ist nach aktueller Umlaufplanung überflüssig

4

AP4 –
Analysen zur Energiebereitstellung
und Maßnahmen zur
Effizienzsteigerung des
Gesamtsystems
oder zur Einbindung lokaler
Erzeugungskapazitäten

Kontextinformationen zum Vorgehen

nur zur internen
Verwendung

Ertragsabschätzung für Photovoltaikanlagen

Zugrunde gelegt werden die bisherigen Ergebnisse der Machbarkeitsstudie, die vor Bearbeitung dieses Abschnitts vorgestellt und diskutiert wurden. Maßgeblich sind dafür insbesondere die Umlaufstruktur, Fahrzeugtypen und Standorte. Vordergründig betrifft dies die verfügbaren Standorte und nutzbaren Bauflächen für die Abschätzung der PV-Anlagenparameter. Außerdem betrifft dies die Umlaufstruktur und gewählten Fahrzeugtypen, um Energiemengen für Gegenüberstellung von Ertrag und Verbrauch einzubeziehen.

Die verfügbaren Dachflächen werden geometrisch ausgewertet, um Parameter wie Modulanzahl und Ausrichtung bestimmen zu können. Die Ertragsmengenberechnung erfolgt mithilfe des Photovoltaic Geographical Information System der Europäischen Kommission.

Gegenüberstellung von Monatserträgen und Energiebedarfen

Kundenseitig wurde der Wunsch formuliert, monatliche Ertragsmengen mit einem „Verbrauchswert“ für eine batterieelektrische Flotte am Standort Prignitz-Falkenhagen I in Kontext zu setzen. Die eingesetzten Tools für die Energiemengenberechnung sind auf die Berechnung von Jahresenergiewerten ausgelegt. Aufgrund der erforderlichen „Re-Parametrierung“ der Tools, sowie den gegebenen Ungenauigkeiten bei der Abschätzung von (wetter- und umstandsabhängigen) Energiemengen und Ertragsabschätzungen, muss diese Gegenüberstellung als Richtwert unter den angegebenen Randbedingungen verstanden werden.

Energiekonzept

PV-Potenziale



Ablauf Ertragsabschätzung PV Anlagen

1

Eingrenzung

- Auswahl der Standorte, die eine sinnvolle Ertragsabschätzung ermöglichen


2

Abschätzung installierbarer PV Peakleistung

- Geometrische Berechnung anhand Dachmaßen und Standardmodul @ $450 \text{ kW}_{\text{peak}}$ mit 1,75m x 1,1m (HxB)
- Zugrunde gelegt werden marktübliche Parameter und Herangehensweisen für Reihenabstände, Aufstellwinkel u.ä.
- Ziel hier: Valide Abschätzung (kein Ersatz für Expertenplanung von PV-Fachunternehmen)

3

Ertragsberechnung über PVGIS

- PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System der Europäischen Kommission 
- Bei mehreren Ausrichtungsvarianten wird die ertragsreichste Variante dargestellt

Eingrenzung der Standorte für PV-Ertragsabschätzung

Reisedienst Westprignitz GmbH

Stadtrandsiedlung 22
19322 Weisen
Flur 5, Flurstücksnummer 271/6



- Grundstück bebaut
 - Dachflächen bereits mit PV Anlagen bestückt
 - Keine Ertragsdaten oder Anlageninformationen vorliegend
- ➔ Keine Ertragsabschätzung sinnvoll möglich

Grundstück unbebaut

Rolf-Hövelmann-Straße
16928 Pritzwalk-Falkenhagen
Flur 2, Flurstücksnummer 251



- Grundstück nicht bebaut
 - PV Ertragsabschätzung möglich auf Basis Konzeptentwurf „Neubau“
- ➔ Ertragsabschätzung wird ausgeführt

Grundstück bebaut (ARLA Gelände)

Mühlenstraße 11,
19357 Karstädt
ehemaliges ARLA-Gelände



- Grundstück bebaut
 - Nutzbarkeit der Dachflächen unklar
 - Nutzung des Grundstücks durch LK generell in Klärung
 - Maximal: Nutzung für Kleinflotte
- ➔ Keine Ertragsabschätzung sinnvoll möglich

Grundstück unbebaut (Abfallkleinannahmestelle)

Hermann-Graebke-Straße 5,
16928 Pritzwalk
(5-10 Busse)



- Grundstück bebaut
 - Nutzung für Abfallkleinannahmestelle
 - Keine Gebäude oder Freiflächen für PV-Anlagen nutzbar
- ➔ Keine Ertragsabschätzung sinnvoll möglich

Quelle Luftbilder: Geoportal des Landkreis Prignitz

Dokumentation Machbarkeitsstudie zu alternativen Antrieben im ÖPNV im Landkreis Prignitz

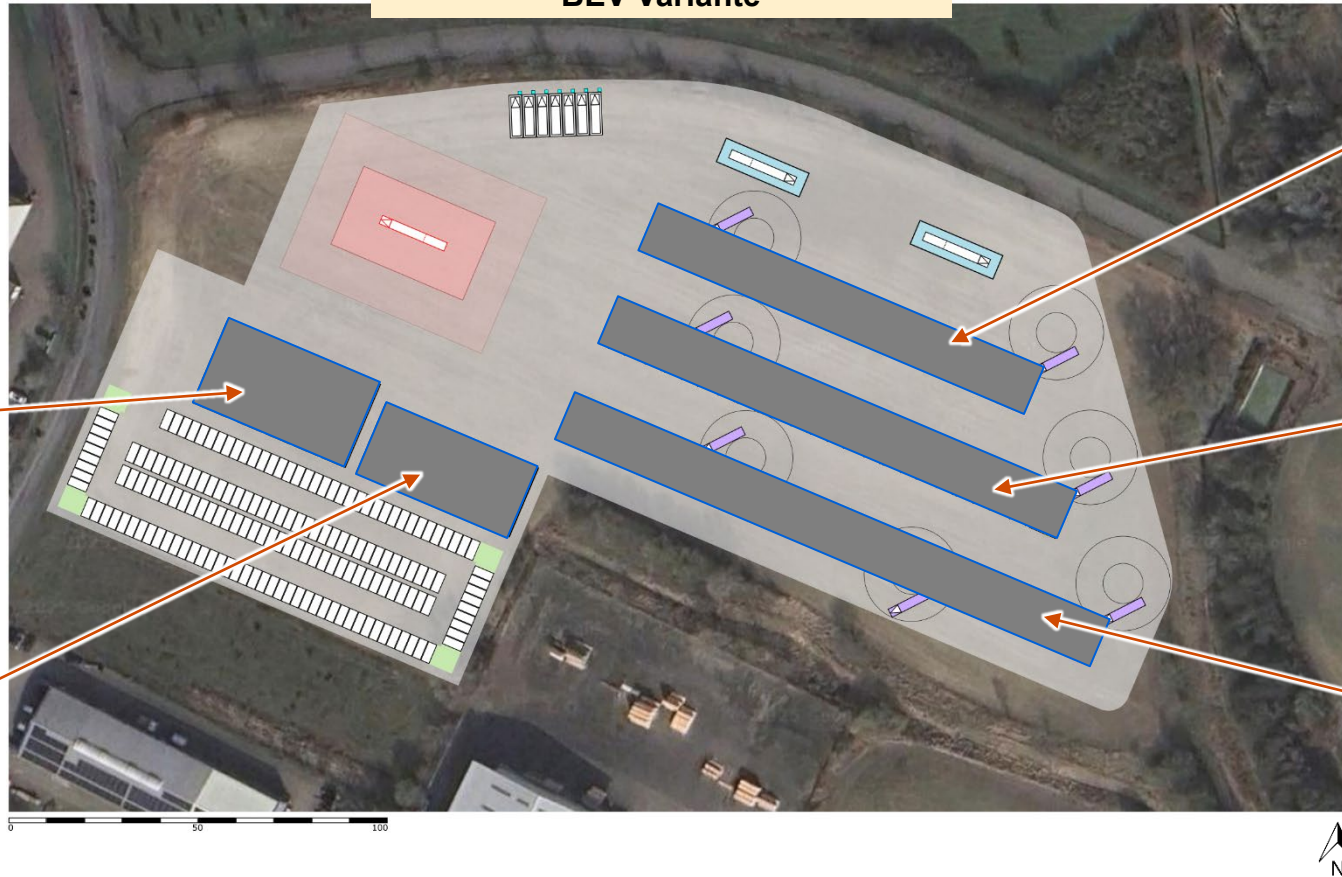
PwC

28. Mai 2026

157

PV-Potenzial Standort Pritzwalk-Falkenhagen I

BEV Variante



Werkstatthalle

- 429 Module (Landscape)
- West/Ost-Ausrichtung
- 193 kWp
- Jahresertrag \approx 161 MWh

Sozialgebäude

- 363 Module (Landscape)
- West/Ost-Ausrichtung
- 163 kWp
- Jahresertrag \approx 136 MWh

Busport (20 Fzge)

- 627 Module (Portrait)
- West/Ost-Ausrichtung
- 282 kWp
- Jahresertrag \approx 235 MWh

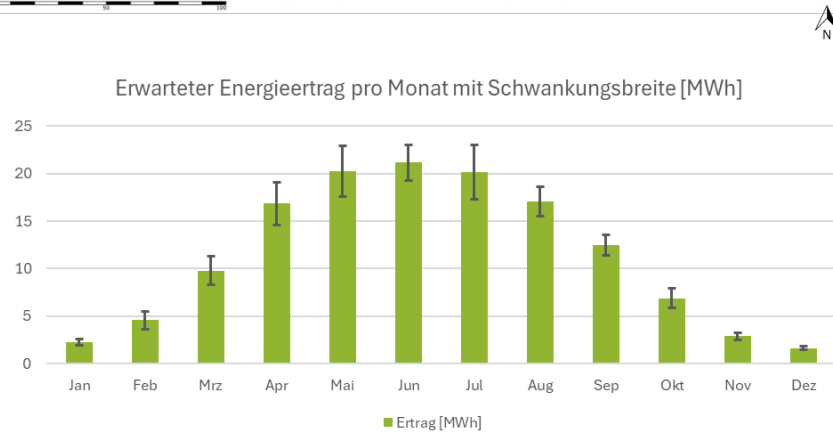
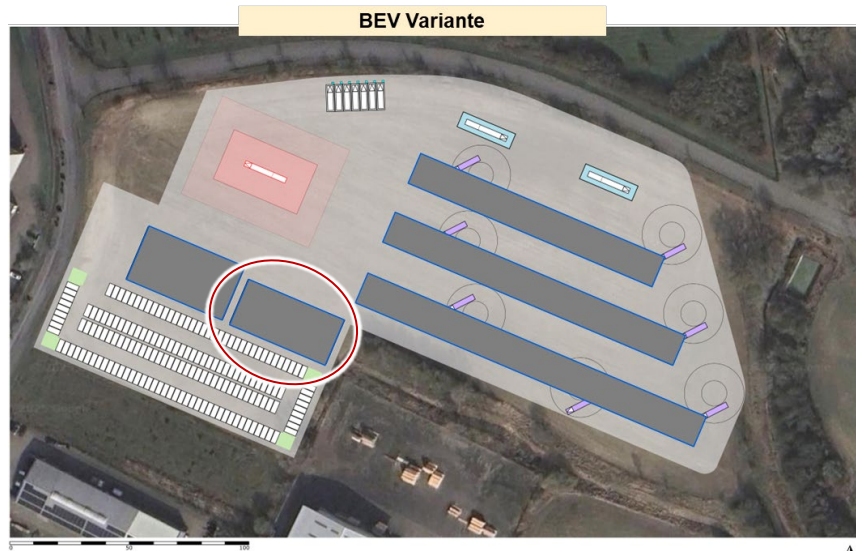
Busport (24 Fzge)

- 737 Module (Portrait)
- West/Ost-Ausrichtung
- 332 kWp
- Jahresertrag \approx 276 MWh

Busport (28 Fzge)

- 858 Module (Portrait)
- West/Ost-Ausrichtung
- 386 kWp
- Jahresertrag \approx 321 MWh

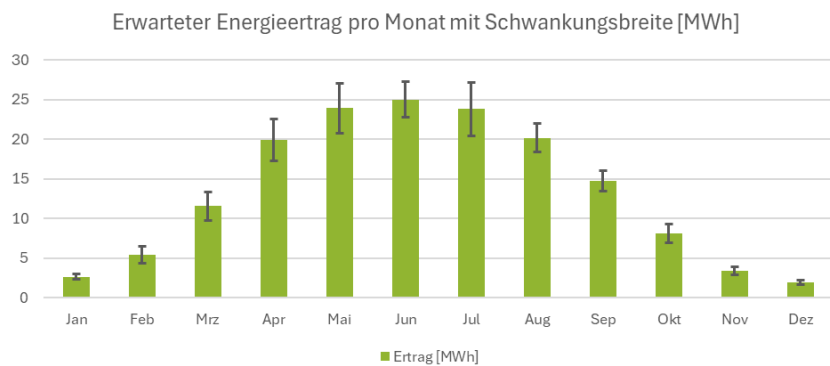
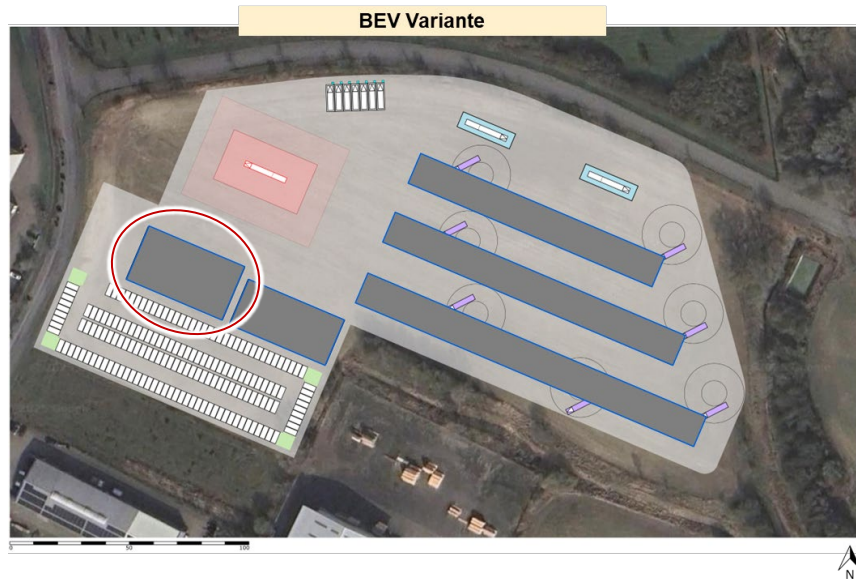
PV Anlage „Sozialgebäude“



Darstellung auf Basis von mit PVGIS bestimmten Daten

Anlageneckdaten	
Parameter	Wert
Anlagenbezeichnung	Sozialgebäude
Anlagenausrichtung	West/Ost (+23° Azimut)
Modul-Aufstellwinkel	15°
Modulausrichtung	Landscape
Modulzahl	363
Anlagen Peakleistung	163,4 kWp
Energieertrag p.a. [MWh]	135,95 MWh
Jährliche Schwankungen [MWh]	± 6,01 MWh

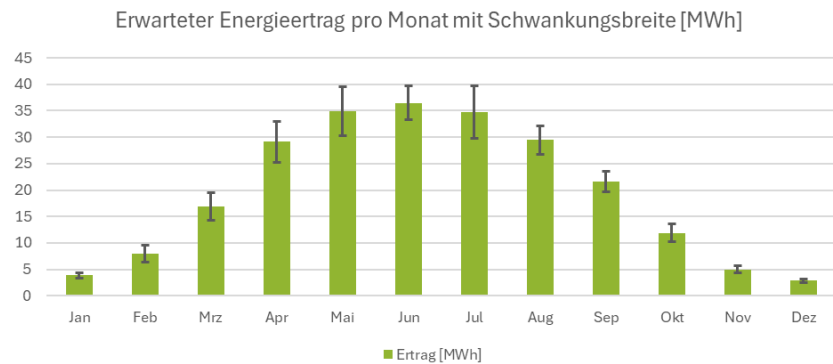
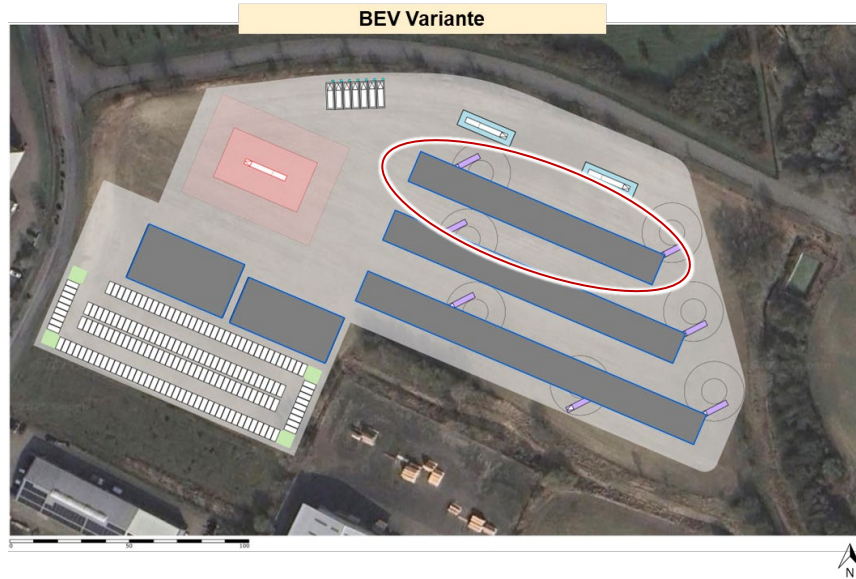
PV Anlage „Werkstatthalle“



Darstellung auf Basis von mit PVGIS bestimmten Daten

Anlageneckdaten	
Parameter	Wert
Anlagenbezeichnung	Werkstatthalle
Anlagenausrichtung	West/Ost (+23° Azimut)
Modul-Aufstellwinkel	15°
Modulausrichtung	Landscape
Modulzahl	429
Anlagen Peakleistung	193,1 kWp
Energieertrag p.a. [MWh]	160,66 MWh
Jährliche Schwankungen [MWh]	± 7,10 MWh

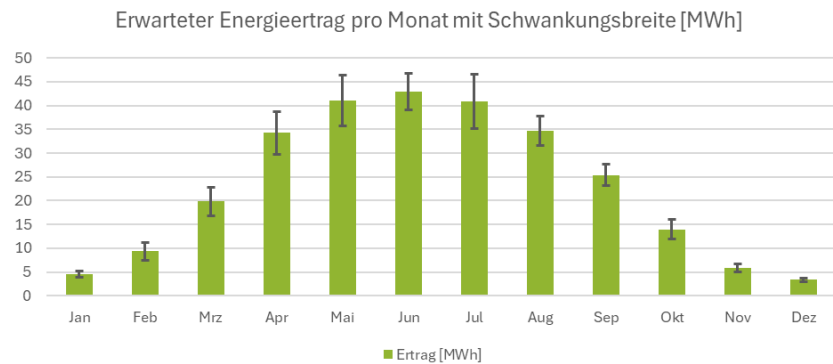
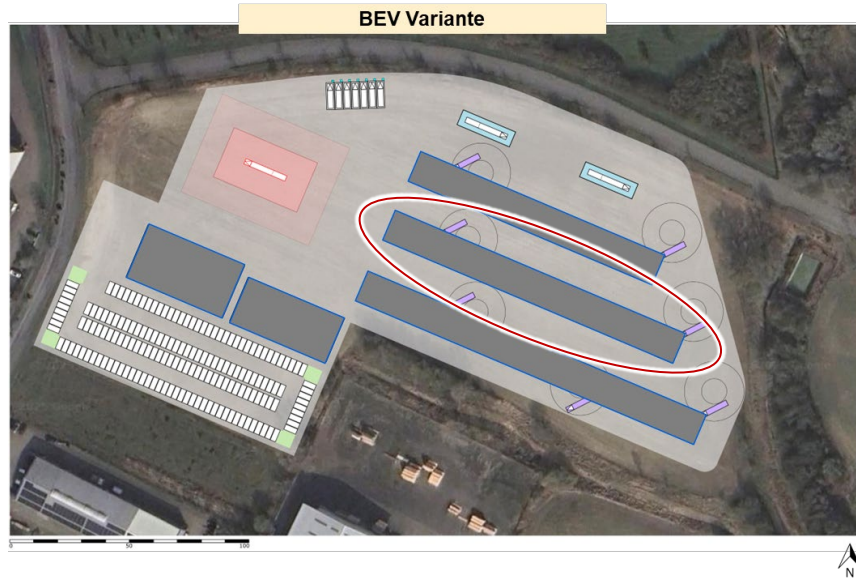
PV Anlage „Busport 20 Busse“



Darstellung auf Basis von mit PVGIS bestimmten Daten

Anlageneckdaten	
Parameter	Wert
Anlagenbezeichnung	Busport 20 Busse
Anlagenausrichtung	West/Ost (+23° Azimut)
Modul-Aufstellwinkel	15°
Modulausrichtung	Portrait
Modulzahl	627
Anlagen Peakleistung	282,2 kWp
Energieertrag p.a. [MWh]	234,81 MWh
Jährliche Schwankungen [MWh]	± 10,37 MWh

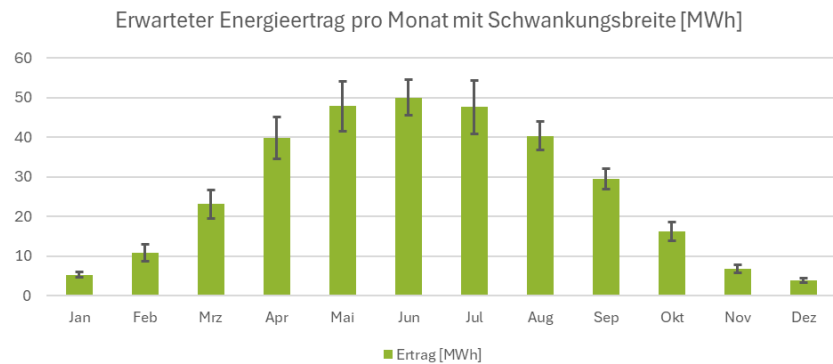
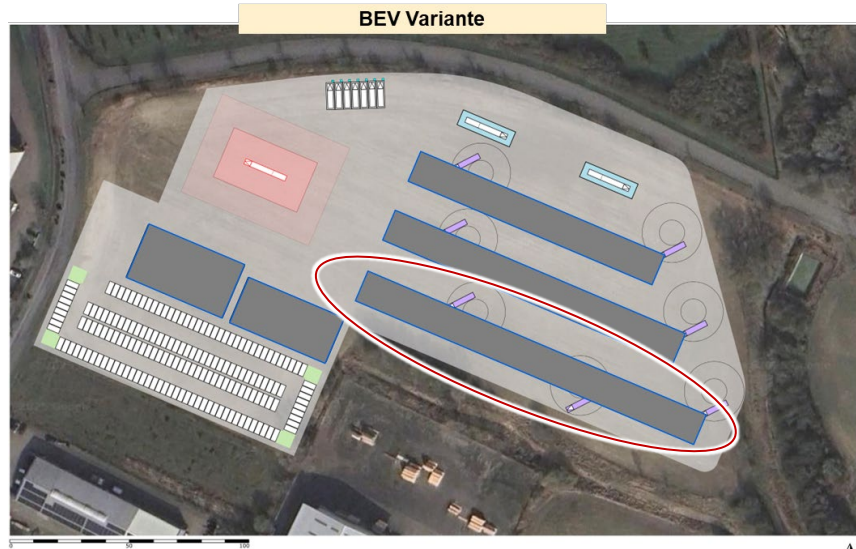
PV Anlage „Busport 24 Busse“



Darstellung auf Basis von mit PVGIS bestimmten Daten

Anlageneckdaten	
Parameter	Wert
Anlagenbezeichnung	Busport 24 Busse
Anlagenausrichtung	West/Ost (+23° Azimut)
Modul-Aufstellwinkel	15°
Modulausrichtung	Portrait
Modulzahl	737
Anlagen Peakleistung	331,7 kWp
Energieertrag p.a. [MWh]	276,01 MWh
Jährliche Schwankungen [MWh]	± 12,19 MWh

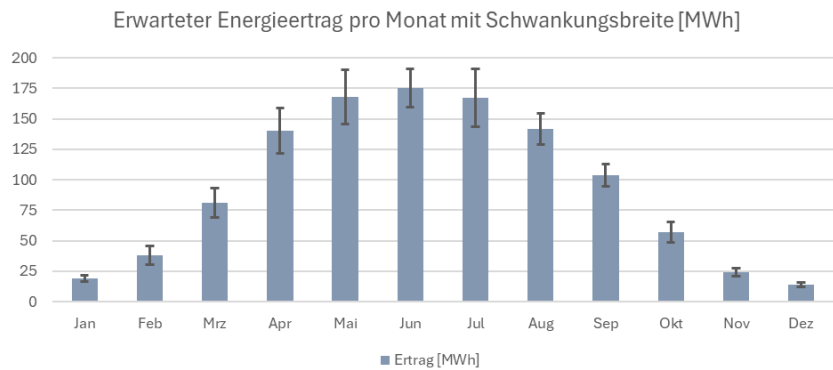
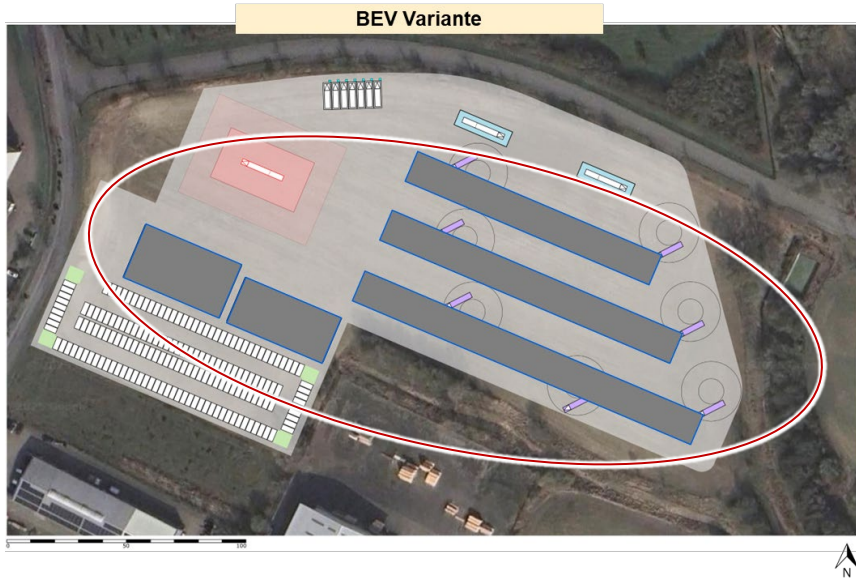
PV Anlage „Busport 28 Busse“



Darstellung auf Basis von mit PVGIS bestimmten Daten

Anlageneckdaten	
Parameter	Wert
Anlagenbezeichnung	Busport 28 Busse
Anlagenausrichtung	West/Ost (+23° Azimut)
Modul-Aufstellwinkel	15°
Modulausrichtung	Portrait
Modulzahl	858
Anlagen Peakleistung	386,1 kWp
Energieertrag p.a. [MWh]	321,33 MWh
Jährliche Schwankungen [MWh]	± 14,19 MWh

Alle PV Anlagen Prignitz-Falkenhagen



Darstellung auf Basis von mit PVGIS bestimmten Daten

Anlageneckdaten	
Parameter	Wert
Anlagenbezeichnung	div
Anlagenausrichtung	West/Ost (+23° Azimut)
Modul-Aufstellwinkel	15°
Modulausrichtung	Portrait und Landscape
Modulzahl	3.014
Anlagen Peakleistung	1.356,3 kWp
Energieertrag p.a. [MWh]	1.129 MWh
Jährliche Schwankungen [MWh]	± 50 MWh

Interpretation der Ergebnisse

Validität

- Für belastbare Einordnung der Eigennutzung muss Umlaufstruktur final definiert werden (Ladebedarf vor Ort)
- Für präzise Ertragsabschätzung muss Grundstückskonzept finalisiert werden (mögliche PV-Erträge präzisieren)
- Neubaukonzept ist als Maximalkonzept ausgeführt („Was passt auf das Grundstück“)
 - Bei Verkleinerung der Abstellung können Grundflächen mit freistehenden PV-Anlagen grdsl. bebaut werden (Ertragssteigerung wahrscheinlich, da jetzige Fahrwege mit PV bestückt werden können)

Ertragsmengenbewertung (auf Basis Grundstückskonzept und Umlaufstruktur der Machbarkeitsstudie)

- Die berechnete Ertragsmenge liegt bei ca. 30% des Busflotten-Energiebedarfs (BEV, ohne On-Demand Verkehr)
 - Wert liegt inklusive On-Demand-Flotte bei ca. 26%
- Isoliert auf den Energiebedarf der Busflotte am Standort Falkenhagen bezogen ist ein PV-Jahresertrag in Höhe von ca. 90% des Jahresenergiebedarfs denkbar (erfordert Freiflächen-PV bei Verkleinerung der Abstellung)

Einordnung der Eigennutzung (auf Basis der Busflotte am Standort Falkenhagen auf Basis der Umlaufstruktur der Machbarkeitsstudie)

- Lastgang ist sehr homogen über gesamten Tagesverlauf
 - Gezielte Erhöhung der Lademenge bei guter Sonneneinstrahlung realistisch (⇒ Realisierungskonzept)
- Größenordnung nächtliche Lademenge (19:00 bis 07:00 Uhr) \approx 3.500 bis 4.300 kWh
 - Für maximale Eigennutzung Speicherdimension \approx 4,5 bis 6 MWh
 - Allerdings: Auch kleinere Speicher erhöhen die Eigennutzung und ermöglichen die Nutzung flexibler Strompreismodelle

Gegenüberstellung Ertrag und Verbrauch für ausgewählte Monate

nur zur internen
Verwendung

Bilanzmonat	PV-Ertrag	Ertrags- schwankung	Energiemenge nur Flotte Falkenhagen	Verbrauchs- abdeckung durch Ertrag	Energiemenge Flotten Falkenhagen + Weisen	Verbrauchs- abdeckung durch Ertrag
	Bezogen auf alle „PV Anlagen Prignitz-Falkenhagen“		12m Busse und On-Demand Kleinbusse	Bezogen auf PV-Ertrag ohne Schwankung	12m Busse und On-Demand Kleinbusse	Bezogen auf PV-Ertrag ohne Schwankung
Dezember	13.710 kWh	± 1.690 kWh	149.388 kWh	9 %	300.019 kWh	5 %
April	139.930 kWh	± 18.640 kWh	121.486 kWh	115 %	242.351 kWh	58 %
Juni	175.510 kWh	± 15.780 kWh	144.569 kWh	121 %	290.341 kWh	60 %

Disclaimer

- Die Gegenüberstellung erfolgt auf Wunsch des Kunden und dient im Sinne eines groben Richtwertes.
- Ertragsseitig werden die mit PVGIS berechneten Ergebnisse pro Monat angesetzt. Dafür wird eine vollständige Realisierung aller oben dargestellten Anlagen (unabhängig von der tatsächlich in Falkenhagen abgestellten Fahrzeugflotte angenommen).
- Verbrauchsseitig werden Tools reparametrisiert, die initial für die Abschätzung von Jahresenergiemengen ausgelegt wurden. Ergebnisse sind entsprechend als grober Richtwert zu interpretieren.
- Verbrauchsseitig wird für jeden Monat ein durchgängiger Schulbetrieb unterstellt, um Richtwerte für Winter, Frühjahr und Sommer zu ermitteln. Monatsscharf kann der Ferienbetrieb zu einer Verbrauchsreduktion führen. Die Anzahl der berücksichtigten Schulwochen wird als Quotient abhängig von der Tagesanzahl im Monat (Anzahl Tage / 7) angesetzt.
- Im Winter und Sommer werden Worst-Case Verbrauchsdaten angenommen. Im Frühjahr wird angenommen, dass keine Klimatisierungsenergie (Heizen oder Kühlen) erforderlich ist.
- Grundsätzlich wird unterstellt, dass der Fahrbetrieb den Umlaufdaten der Machbarkeitsstudie entspricht und die entsprechenden Fahrzeuge und Fahrzeugtypen eingesetzt werden.

5

AP5 –
Wirtschaftlichkeitsanalyse und
Finanzierungsplanung unter
Berücksichtigung möglicher
Förderungen

Vorgehensweise

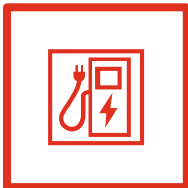
Wirtschaftlichkeitsanalyse und Finanzierungsplanung unter Berücksichtigung möglicher Förderungen



Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit alternativer Antriebstechnologien im straßengebundenen ÖPNV des Landkreises Prignitz wurde eine integrierte **Total-Cost-of-Ownership-Analyse (TCO)** auf Vollkostenbasis durchgeführt. Ziel war es, die langfristigen Kostenwirkungen unterschiedlicher Antriebskonzepte transparent, vergleichbar und entscheidungsrelevant darzustellen.



Die Analyse basiert auf einheitlichen, technologieübergreifend konsistenten Rahmenannahmen zu **Fahrleistungen, Einsatzprofilen, Lebensdauern sowie organisatorischen und betrieblichen Strukturen**. Betrachtet werden die Antriebsarten Diesel (Referenz), Diesel mit HVO100, batterieelektrische Busse (BEV) und Brennstoffzellenbusse (FCEV). Die Bewertung erfolgt in **Euro je Fahrplankilometer** und erlaubt damit einen direkten Vergleich der Wirtschaftlichkeit.



In der Kostenmodellierung wurden sowohl **investive Kosten (CAPEX)** als auch **laufende Betriebskosten (OPEX)** berücksichtigt. Dazu zählen insbesondere Fahrzeuganschaffung, Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur, Instandhaltung, Energiekosten sowie alle relevanten personal- und betriebsbezogenen Funktionsbereiche. Kostenentwicklungen – etwa für Energiepreise, Fahrzeuge oder Personal – wurden bis zum Jahr 2035 dynamisiert und in mehreren Betrachtungsjahren (2026, 2030, 2035) ausgewertet.



Auf dieser Grundlage wurden die **wesentlichen Kostentreiber je Technologie identifiziert**, Mehr- und Minderkosten gegenüber dem Diesel-Referenzszenario analysiert sowie Sensitivitäts- und Break-Even-Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse dienen als fundierte Entscheidungsgrundlage für die strategische Ausrichtung der Fahrzeugbeschaffung, die Dimensionierung der Infrastruktur sowie die Ableitung von Investitions- und Finanzierungsbedarfen unter Berücksichtigung möglicher Förderinstrumente

Wir haben eine integrierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als Total-Cost-Of-Ownership-Analyse auf Vollkostenbasis durchgeführt

1

Kosten- und Bewertungsprämissen

- Definition der Kostenannahmen (CAPEX, OPEX, Energiepreise, Lebensdauer)
- Einheitliche Rahmenbedingungen für alle Antriebsarten
- Abbildung von Kostenentwicklungen bis 2035

2

TCO-Berechnung je Antriebsart

- Vollkostenbetrachtung in €/ Fahrplankilometer
- Vergleich Diesel, HVO100, BEV, FCEV
- Differenzierung nach Kostenkomponenten:
 - Fahrzeug
 - Infrastruktur
 - Instandhaltung
 - Energie
- **Zeitpunktbetrachtung für Jahre 2026, 2030 und 2035**

3

Einordnung und Kostentreiberanalyse

- Identifikation der wesentlichen Kostentreiber je Technologie
- Erklärung von Mehr- und Minderkosten gegenüber Diesel
- Grundlage für strategische Bewertung

4

Sensitivitäts- und Break-Even-Analysen

- Analyse der Wirkung zentraler Unsicherheiten:
 - Energiepreise
 - Fahrzeugpreise
 - Infrastrukturkosten
- Ableitung von Break-Even-Bedingungen zwischen BEV und FCEV

5

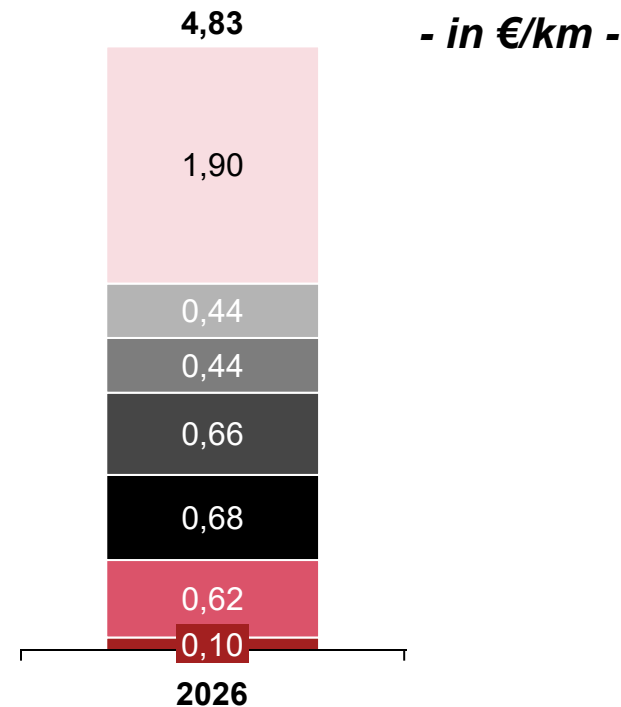
Ableitung Invest- & Finanzierungsbedarf

- Überführung der TCO-Ergebnisse in:
 - Investitionsvolumen Fahrzeuge
 - Investitionsvolumen Infrastruktur
- Standortbezogene Betrachtung
- Vorbereitung der Förder- und Finanzierungsdiskussion

Auf Basis unserer PwC-Datenbank haben wir einen Vollkosten-Satz für die Leistungserbringung mit konventionellen Antrieben im ÖPNV im LK Prignitz abgeleitet, der als Ausgangsbasis der TCO-Rechnung dient



Benchmarking für den ÖPNV mit Bussen im LK Prignitz auf Basis der Kostendaten von Landkreisen mit ähnlicher ÖPNV-Struktur



Fahrdienst	Fahrzeugvorhaltung
Betriebssteuerung	Treibstoffverbrauch
Fahrzeuginstandhaltung	Betriebsunabhängige Funktionsbereiche



Modellierung der technologiebedingten Kosten nach Leistungsbild / Fahrzeugflotte

- Fahrzeugvorhaltung (+Infrastruktur)
- Treibstoff bzw. Treibenergie
- Instandhaltung

alle übrigen Bereiche technologieunabhängigen Funktionsbereiche werden jährlich dynamisiert

Kostenschätzung

Wesentliche Parameter – alle Angaben netto

Quellen: NOW-Wirtschaftlichkeitsuntersuchung 2026, PwC-Datenbank,
BMWK Begleitforschung Bus

Betrieb

- Treibkraft-Kosten**

<u>Diesel (Großverbraucher, netto)</u>	
2026	1,85 €/l
2030	2,18 €/l
2035	2,42 €/l

Berücksichtigung der CO2-Steuerentwicklung

<u>HVO100</u>	
2026	2,13 €/l
2030	2,51 €/l
2035	2,79 €/l

<u>Fahrstrom</u>	
2026 (Status Quo)	0,264 €/kWh
2030	0,292 €/ kWh
2035	0,312 €/ kWh

<u>Wasserstoff Bezugspreis bis Tankstelle</u>	
2026 (Status Quo)	8,00 €/kg
2030	7,50 €/kg
2035	7,79 €/kg

- Instandhaltungskosten**

Dieselbus Status quo	100 %
Batteriebus	90 %
BZ-Bus	95 %

- Sonstige Kosten**

Baubegleitung	20 % von den Investitionskosten
Projektkosten	5 % von den Investitionskosten

Investitionen

- Anschaffungskosten Referenz-Fahrzeuge**

Dieselbus Solo (2026)	330 T€
Dieselbus Solo (2030)	343 T€
Dieselbus Solo (2035)	379 T€
Batteriebus Solo (2026)	600 T€
Batteriebus Solo (2030)	556 T€
Batteriebus Solo (2035)	578 T€
BZ-Bus Solo (2026)	640 T€
BZ-Bus Solo (2030)	593 T€
BZ-Bus Solo (2035)	617 T€

- Restwerte**

Fahrzeuge 2 %

- Ladeinfrastruktur (LIS) 120 T€ pro LP**

Berücksichtigung unterschiedlicher Ausbaustufen:
 Stufe I = Tiefbau, Kabelwege, Gelände-Vorbereitung
 Stufe II = Trafo inkl. Gebäude, Gebäude u. Kabel für LIS
 Stufe III = Ladepunkte, Ladeelektronik
Trafo-Station 1.000 kVA 130 T€
Netzanschluss 150 € pro kW

- Betankungsinfrastruktur je 30 Fzg. 3.800 T€**

- Software & Wartung BMS+LIS p.a. 150 T€**

- Werkstatteinrichtung je Szenario 50 - 200 T€**

- Nutzungs- und Abschreibungsdauer**

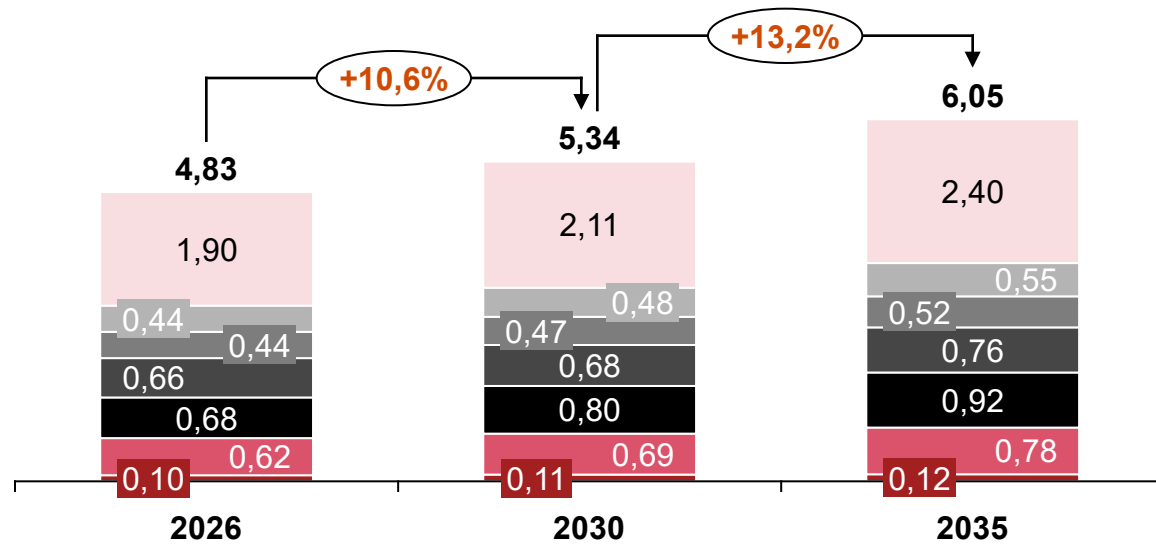
Dieselbus Solo	10 Jahre
BEV Solo	10 Jahre
FCEV Solo	10 Jahre
Ladeinfrastruktur	20 Jahre
Betankungsinfrastruktur	20 Jahre

Rahmenbedingungen

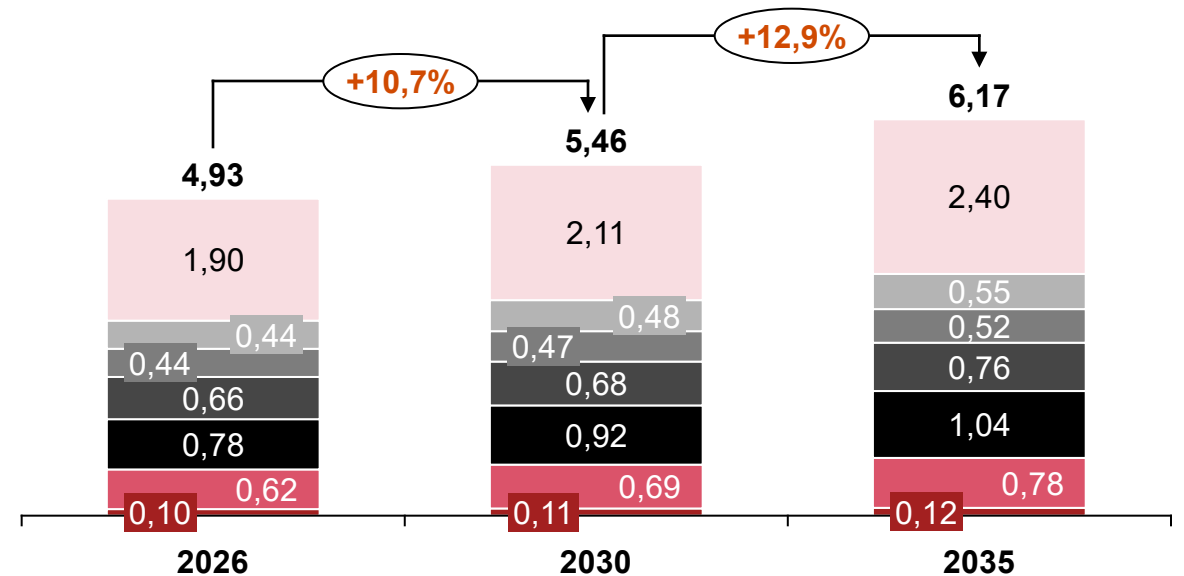
- Zeithorizont der Betrachtung bis 2035
- Einbezug von investiver Förderung als Szenario
- Dynamisierung der Funktionsbereiche Fahrdienst, Disposition, Bereitstellung, Überwachung, Instandhaltung, Marketing/Vertrieb, Planung und Verwaltung über Verbraucherpreisindex mit 3,0 % p. a.
- Dynamisierung Preis Dieselbusse mit 2,4 % p. a.

TCO-Analyse, Diesel und HVO100

TCO-Analyse Diesel

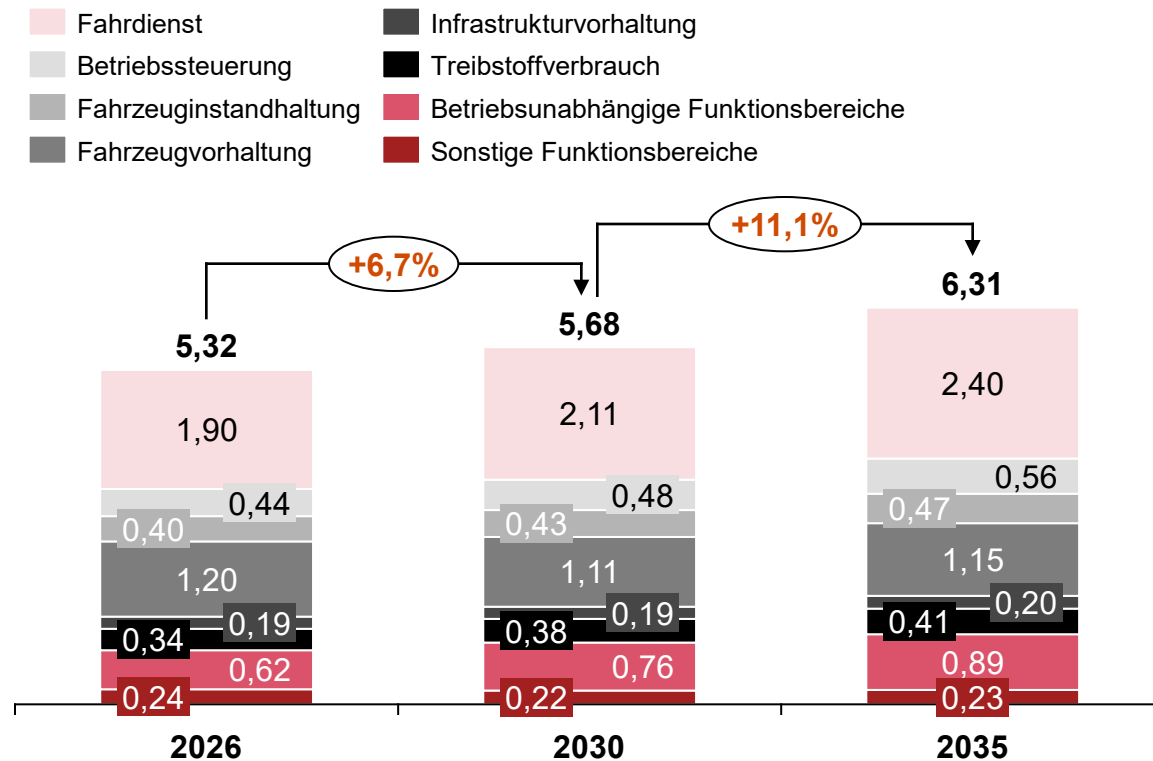


TCO-Analyse HVO100

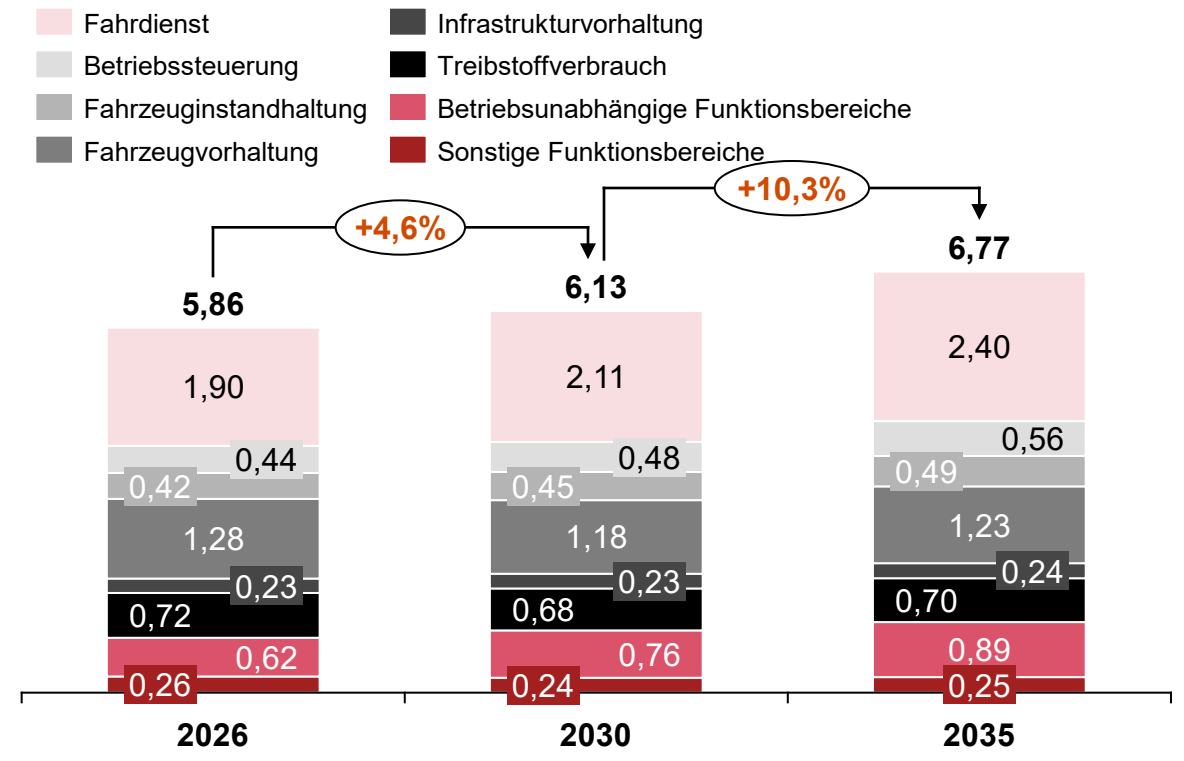


TCO Analyse, BEV und FCEV

TCO-Analyse BEV



TCO-Analyse FCEV



Ergebnisse im Vergleich - Jahr 2026

Vergleich der Kostensätze (Teilkosten) nach Antriebsarten

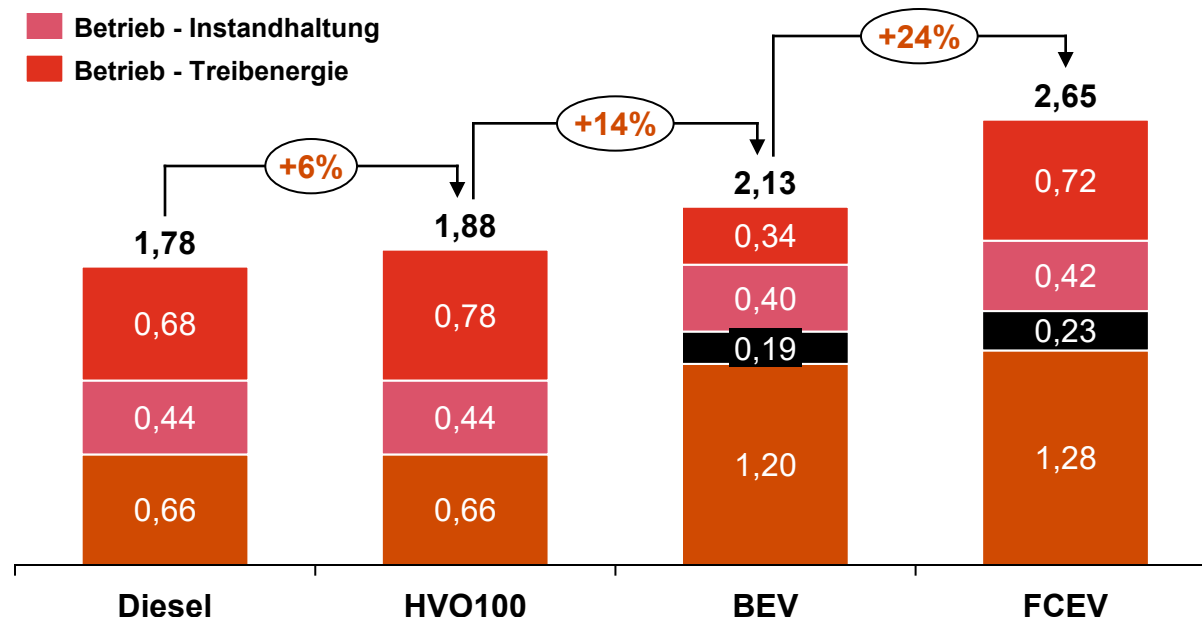
Vergleich der kumulierten Kosten (diskontiert) von Solo-Bussen nach Kostenkomponenten für das Beschaffungsjahr 2026

Annahmen: Nutzungsdauer 12 Jahre, Laufleistung 50.000 km p.a.

- in €/Fpl.-km ·



- Invest - Fahrzeug
- Invest - Infrastruktur
- Betrieb - Instandhaltung
- Betrieb - Treibenergie



Die erste *abschätzende* TCO-Rechnung zur Einordnung zeigt:

- Batteriebusse sind die günstigste emissionsfreie Antriebsart, wenngleich mit deutlichen Mehrkosten für die Fahrzeuge und Infrastruktur verbunden.
- Wasserstoffbusse sind zusätzlich aufgrund der schlechteren Energieeffizienz hinsichtlich der Treibenergie deutlich teurer.
- Der Betrieb von Dieseln mit HVO100 unterscheidet sich gegenüber dem reinen Dieselszenario lediglich in den Kosten für die Treibkraft.
- Auch in den kommenden Jahren liegen die Anschaffungskosten emissionsfreier Busse deutlich über denen konventioneller Dieseln und können nicht vollständig durch Einsparungen bei der Treibenergie kompensiert werden.



Ergebnisse im Vergleich - Jahr 2026

Vergleich der Kostensätze (Vollkosten) nach Antriebsarten

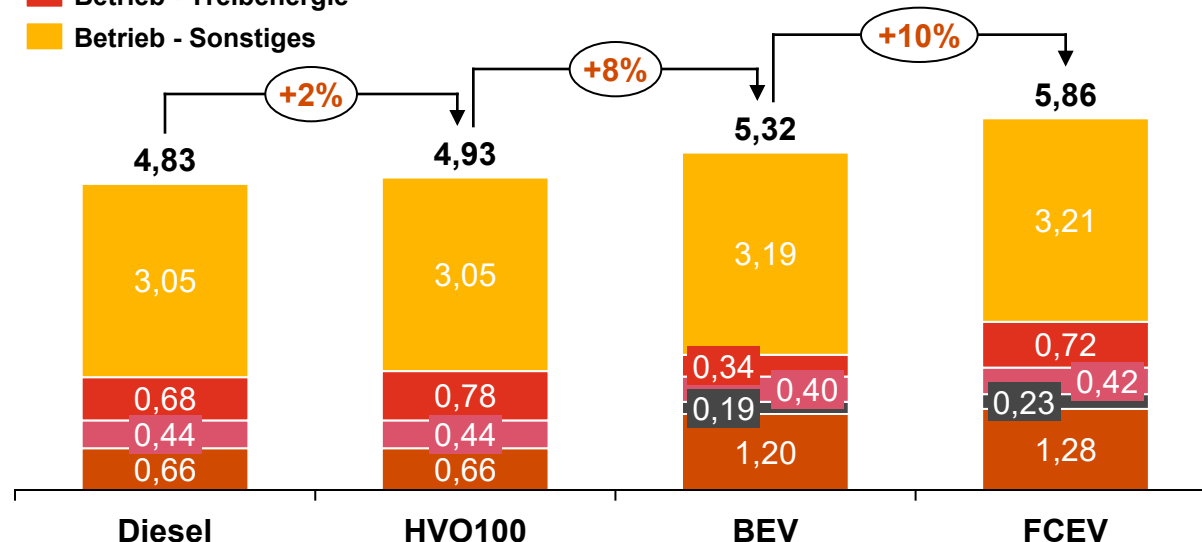
Vergleich der kumulierten Kosten (diskontiert) von Solo-Bussen nach Kostenkomponenten für das Beschaffungsjahr 2026

Annahmen: Nutzungsdauer 12 Jahre, Laufleistung 50.000 km p.a.

- in €/Fpl.-km ·



- Invest - Fahrzeug
- Invest - Infrastruktur
- Betrieb - Instandhaltung
- Betrieb - Treibenergie
- Betrieb - Sonstiges



Die erste *abschätzende* TCO-Rechnung zur Einordnung zeigt:

- Batteriebusse sind die günstigste emissionsfreie Antriebsart, wenngleich mit deutlichen Mehrkosten für die Fahrzeuge und Infrastruktur verbunden.
- Wasserstoffbusse sind zusätzlich aufgrund der schlechteren Energieeffizienz hinsichtlich der Treibenergie deutlich teurer.
- Der Betrieb von Dieseln mit HVO100 unterscheidet sich gegenüber dem reinen Dieselszenario lediglich in den Kosten für die Treibkraft.
- Auch in den kommenden Jahren liegen die Anschaffungskosten emissionsfreier Busse deutlich über denen konventioneller Dieseln und können nicht vollständig durch Einsparungen bei der Treibenergie kompensiert werden.

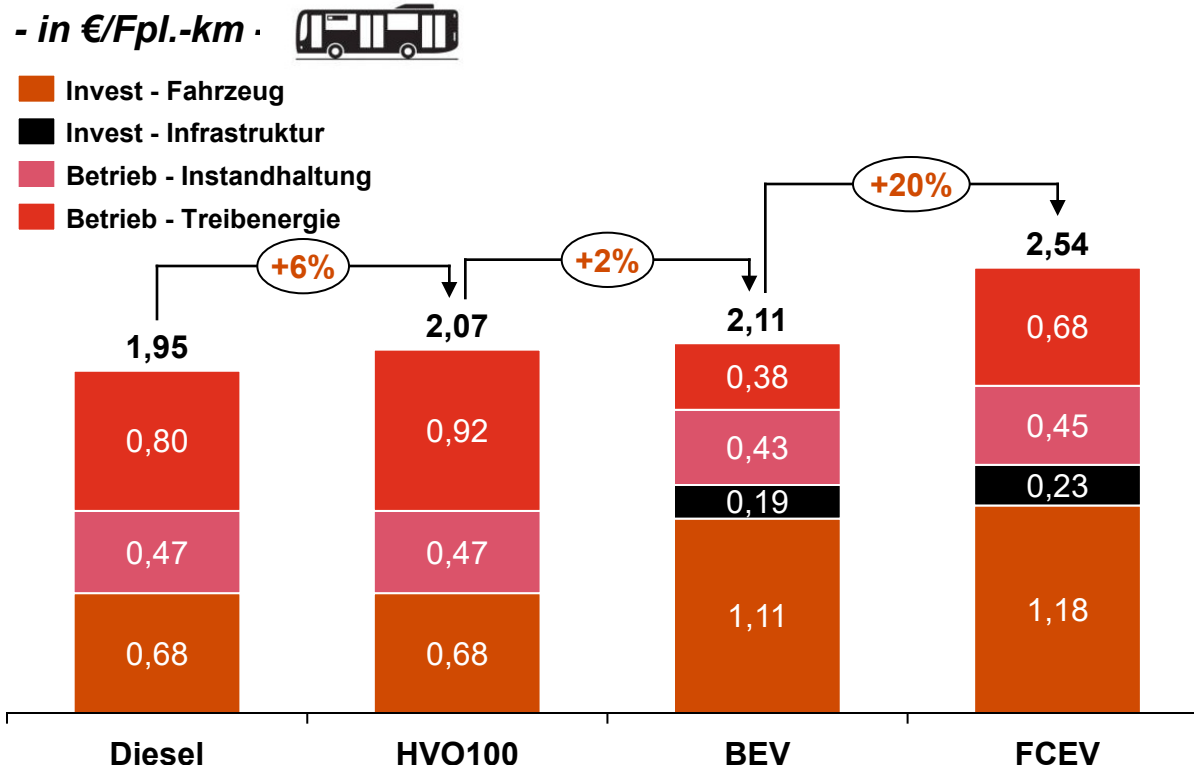


Ergebnisse im Vergleich - Jahr 2030

Vergleich der Kostensätze (Teilkosten) nach Antriebsarten

Vergleich der kumulierten Kosten (diskontiert) von Solo-Bussen nach Kostenkomponenten für das Beschaffungsjahr 2030

Annahmen: Nutzungsdauer 12 Jahre, Laufleistung 50.000 km p.a.



Die erste *Prognose der TCO-Rechnung* für 2030 zur Einordnung zeigt:

- Personalkostendominierte Funktionsbereiche (hier: „Betrieb-Sonstiges“) werden mit dem gleichen Index fortgeschrieben und entwickeln sich in allen Szenarien gleich.
- Im Bereich der Treibkraft treten die Treibstoffe Diesel und HVO100 als zentrale Kostentreiber auf. Die Bezugskosten für Fahrstrom und Wasserstoff steigen ebenfalls, im Vergleich unterproportional.
- Entsprechend der getroffenen Prämissen fallen die Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen bei den emissionsfreien Varianten geringer aus.
- Im Bereich der Infrastrukturvorhaltung wird keine signifikante Kostensteigerung prognostiziert, da davon ausgegangen wird, dass die Kostensteigerung durch Inflation durch die Kostenersparnis im Rahmen des Markthochlaufs kompensiert wird.
- Bei den Fahrzeugkosten wird bis 2030 von einer Kostendegression im Rahmen des Markthochlaufs ausgegangen.



Ergebnisse im Vergleich - Jahr 2030

Vergleich der Kostensätze (Vollkosten) nach Antriebsarten

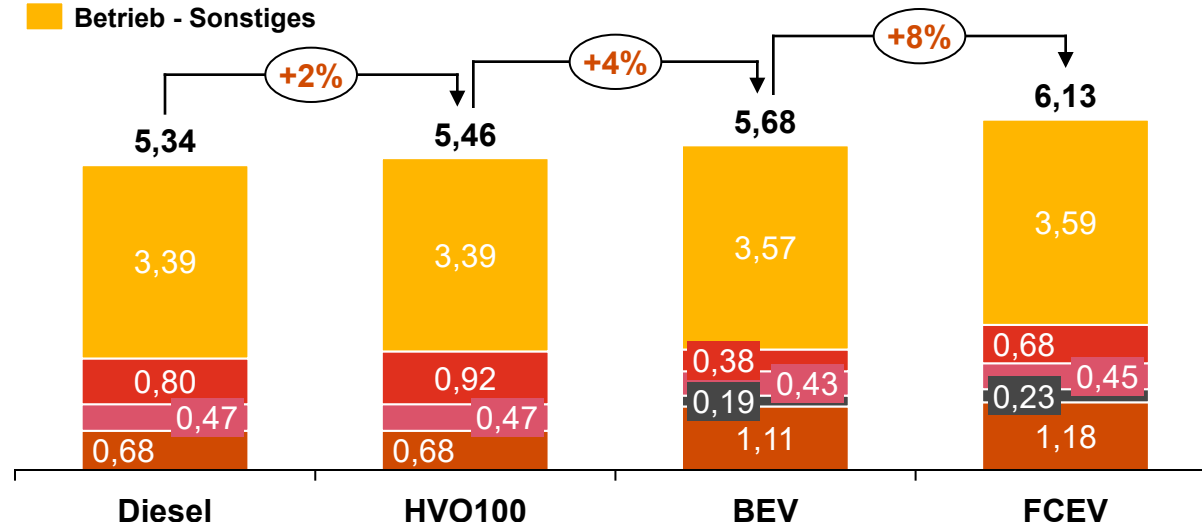
Vergleich der kumulierten Kosten (diskontiert) von Solo-Bussen nach Kostenkomponenten für das Beschaffungsjahr 2030

Annahmen: Nutzungsdauer 12 Jahre, Laufleistung 50.000 km p.a.

- in €/Fpl.-km ·



- Invest - Fahrzeug
- Invest - Infrastruktur
- Betrieb - Instandhaltung
- Betrieb - Treibenergie
- Betrieb - Sonstiges



Die erste *Prognose der TCO-Rechnung* für 2030 zur Einordnung zeigt:

- Personalkostendominierte Funktionsbereiche (hier: „Betrieb-Sonstiges“) werden mit dem gleichen Index fortgeschrieben und entwickeln sich in allen Szenarien gleich.
- Im Bereich der Treibkraft treten die Treibstoffe Diesel und HVO100 als zentrale Kostentreiber auf. Die Bezugskosten für Fahrstrom und Wasserstoff steigen ebenfalls, im Vergleich unterproportional.
- Entsprechend der getroffenen Prämissen fallen die Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen bei den emissionsfreien Varianten geringer aus.
- Im Bereich der Infrastrukturvorhaltung wird keine signifikante Kostensteigerung prognostiziert, da davon ausgegangen wird, dass die Kostensteigerung durch Inflation durch die Kostenersparnis im Rahmen des Markthochlaufs kompensiert wird.
- Bei den Fahrzeugkosten wird bis 2030 von einer Kostendegression im Rahmen des Markthochlaufs ausgegangen.

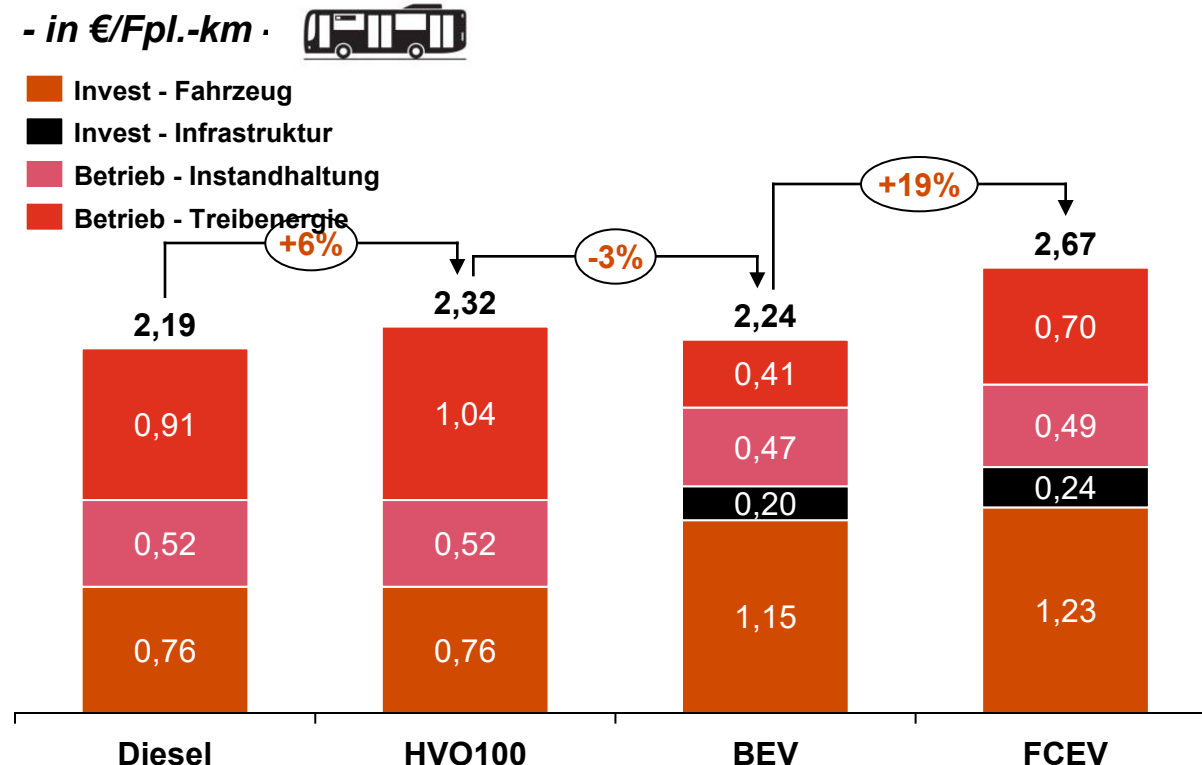


Ergebnisse im Vergleich - Jahr 2035

Vergleich der Kostensätze (Teilkosten) nach Antriebsarten

Vergleich der kumulierten Kosten (diskontiert) von Solo-Bussen nach Kostenkomponenten für das Beschaffungsjahr 2035

Annahmen: Nutzungsdauer 12 Jahre, Laufleistung 50.000 km p.a.



Die erste *Prognose der TCO-Rechnung* für 2030 zur Einordnung zeigt:

- Personalkostendominierte Funktionsbereiche (hier: „Betrieb-Sonstiges“) werden mit dem gleichen Index fortgeschrieben und entwickeln sich in allen Szenarien gleich.
- Im Bereich der Treibkraft treten die Treibstoffe Diesel und HVO100 als zentrale Kostentreiber auf. Die Bezugskosten für Fahrstrom und Wasserstoff steigen ebenfalls, im Vergleich unterproportional.
- Entsprechend der getroffenen Prämissen fallen die Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen bei den emissionsfreien Varianten geringer aus.
- Im Bereich der Infrastrukturvorhaltung wird keine signifikante Kostensteigerung prognostiziert, da davon ausgegangen wird, dass die Kostensteigerung durch Inflation durch die Kostenersparnis im Rahmen des Markthochlaufs kompensiert wird.
- Bei den Fahrzeugkosten wird ab 2030 von einer Inflation entsprechend Verbraucherpreisindex ausgegangen. Die Ersparnisse im Rahmen des Markthochlaufs werden ab 2030 nur noch als geringfügig eingeschätzt.



Ergebnisse im Vergleich - Jahr 2035

Vergleich der Kostensätze (Vollkosten) nach Antriebsarten

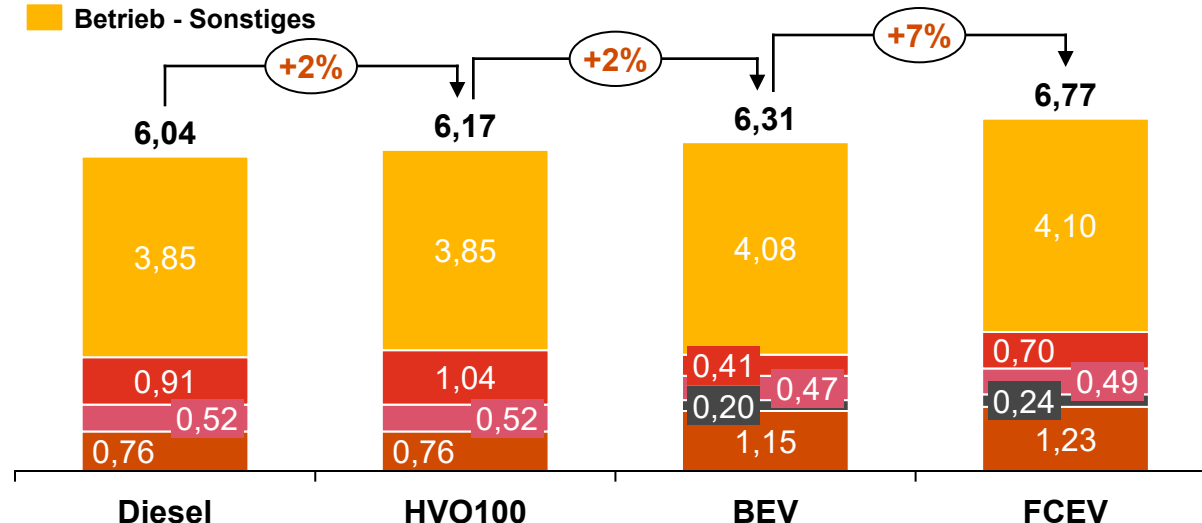
Vergleich der kumulierten Kosten (diskontiert) von Solo-Bussen nach Kostenkomponenten für das Beschaffungsjahr 2035

Annahmen: Nutzungsdauer 12 Jahre, Laufleistung 50.000 km p.a.

- in €/Fpl.-km ·



- Invest - Fahrzeug
- Invest - Infrastruktur
- Betrieb - Instandhaltung
- Betrieb - Treibenergie
- Betrieb - Sonstiges



Die erste *Prognose der TCO-Rechnung* für 2030 zur Einordnung zeigt:

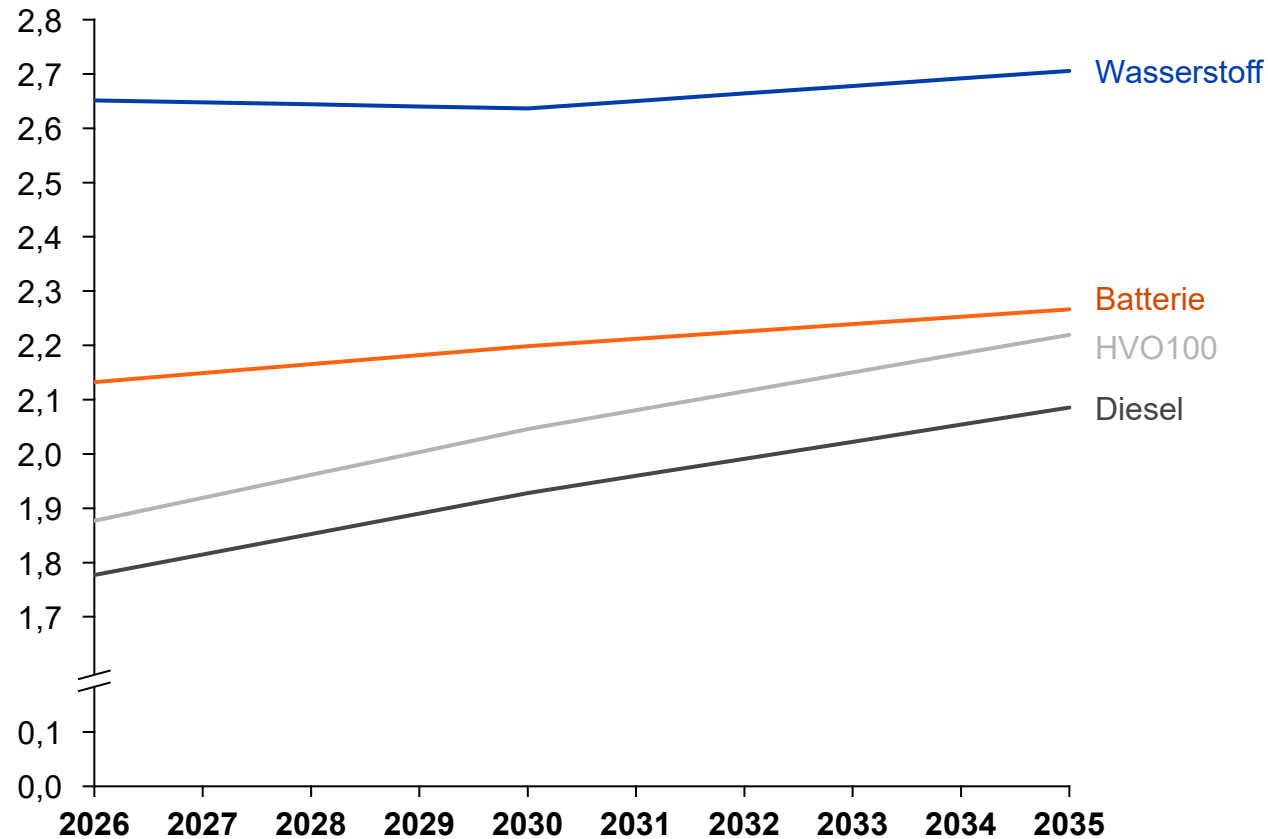
- Personalkostendominierte Funktionsbereiche (hier: „Betrieb-Sonstiges“) werden mit dem gleichen Index fortgeschrieben und entwickeln sich in allen Szenarien gleich.
- Im Bereich der Treibkraft treten die Treibstoffe Diesel und HVO100 als zentrale Kostentreiber auf. Die Bezugskosten für Fahrstrom und Wasserstoff steigen ebenfalls, im Vergleich unterproportional.
- Entsprechend der getroffenen Prämissen fallen die Kosten für Instandhaltungsmaßnahmen bei den emissionsfreien Varianten geringer aus.
- Im Bereich der Infrastrukturvorhaltung wird keine signifikante Kostensteigerung prognostiziert, da davon ausgegangen wird, dass die Kostensteigerung durch Inflation durch die Kostenersparnis im Rahmen des Markthochlaufs kompensiert wird.
- Bei den Fahrzeugkosten wird ab 2030 von einer Inflation entsprechend Verbraucherpreisindex ausgegangen. Die Ersparnisse im Rahmen des Markthochlaufs werden ab 2030 nur noch als geringfügig eingeschätzt.



Die Kosten von Batterie- und Dieselmussen nähern sich im Zeitverlauf an – insgesamt wird der ÖPNV jedoch auch antriebsunabhängig teurer

Entwicklung der Teilkosten über den Fahrzeuglebenszyklus (Fahrzeugbeschaffung im Jahr 2026)

Kosten pro Kilometer



Kostenbestandteile:

- Investitionen Fahrzeuge (lineare Abschreibung)
- Investitionen Lade-/Betankungsinfrastruktur (Abschreibungen)
- Betriebskosten Instandhaltung
- Betriebskosten Treibenergie (Diesel, HVO100, Strom, H2)

Ergebnisse

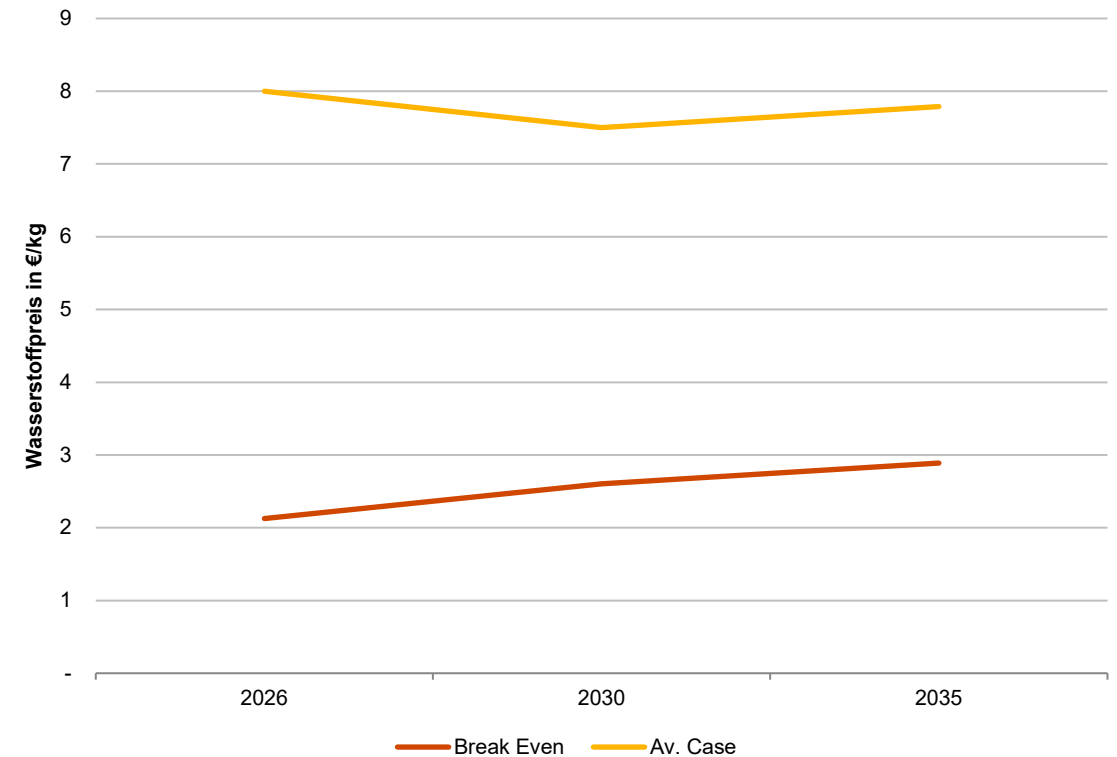
Break-Even-Analyse → Batterie- vs. Wasserstoffbus

Auswertung Break-Even-Analyse, Wasserstoffpreis

- Der Wasserstoffpreis müsste bis 2035 auf durchschnittlich **2,89 €/kg** sinken, um Break-Even mit dem BEV-Szenario zu sein.*
- Um bereits 2030 Break Even mit dem BEV-Szenario zu sein, ist ein Bezugspreis in Höhe von **2,60 €/kg** erforderlich.
- Der Wasserstoffpreis müsste 2030 bzw. 2035 dementsprechend um 63 bis 65 % sinken, um eine Wettbewerbsfähigkeit des FCEV-Szenarios mit dem BEV-Szenario herzustellen.
- Auch im optimistischen Szenario müsste der Wasserstoffpreis durchschnittlich 25 % pro Jahr zurückgehen, um bis 2030 Break-Even zum BEV-Szenario zu sein.

* Bei der Break-Even-Analyse wird davon ausgegangen, dass alle weiteren Prämissen unverändert in die Berechnung eingehen.
Dokumentation Machbarkeitsstudie zu alternativen Antrieben im ÖPNV im Landkreis Prignitz
PwC

Break-Even-Analyse, Wasserstoffpreis



Ergebnisse

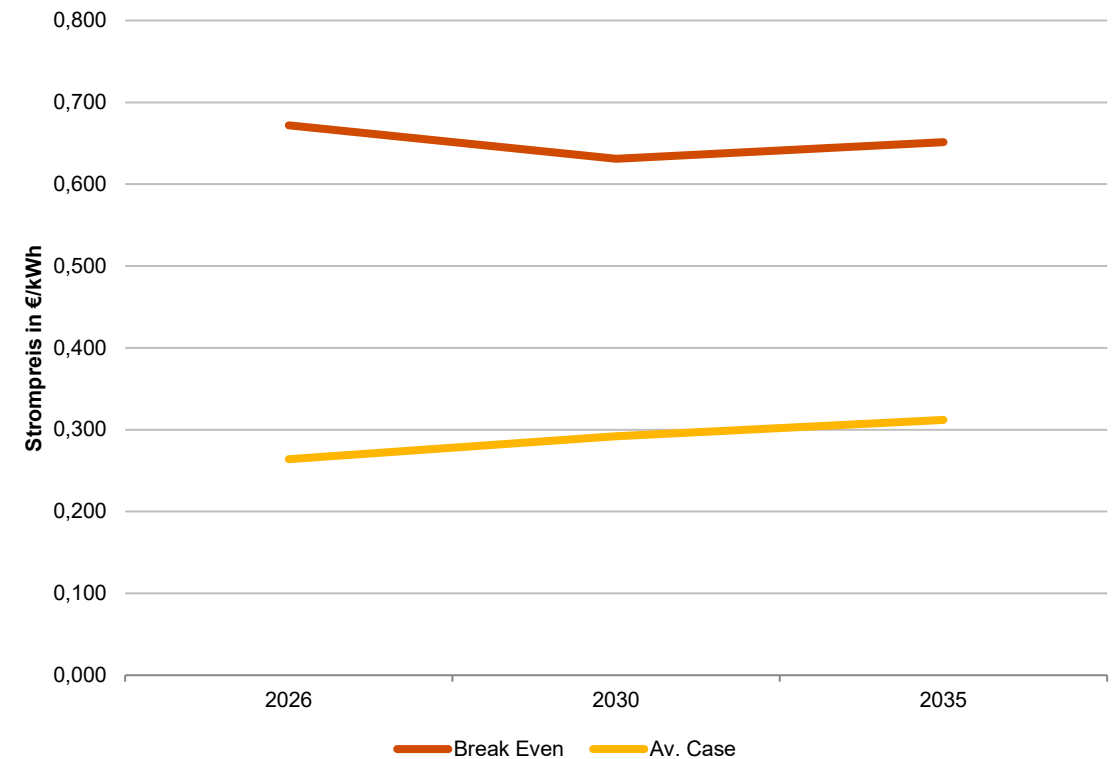
Break-Even-Analyse → Batterie- vs. Wasserstoffbus

Auswertung Break-Even-Analyse, Strompreis

- Der Strompreis müsste bis 2035 auf durchschnittlich **0,65 €/kWh** steigen, um Break-Even mit dem FCEV-Szenario zu sein.*
- Um bereits 2030 Break Even mit dem FCEV-Szenario zu sein, ist ein Strompreis in Höhe von **0,63 €/kWh** erforderlich.
- Der Strompreis müsste 2030 bzw. 2035 dementsprechend um 109 bis 116 % steigen, um eine Wettbewerbsfähigkeit des FCEV-Szenarios mit dem BEV-Szenario herzustellen.
- Auch im optimistischen Szenario müsste der Strompreis durchschnittlich 25 % pro Jahr steigen, um bis 2030 Break-Even zum FCEV-Szenario zu sein.

* Bei der Break-Even-Analyse wird davon ausgegangen, dass alle weiteren Prämissen unverändert in die Berechnung eingehen.
Dokumentation Machbarkeitsstudie zu alternativen Antrieben im ÖPNV im Landkreis Prignitz
PwC

Break-Even-Analyse, Strompreis



Ergänzend zur TCO-Mehrkostenbetrachtung haben wir den Finanzierungsbedarf für den Ausbau der untersuchten Standorte Falkenhagen und Weisen abgeschätzt

Annahmen Standort Falkenhagen

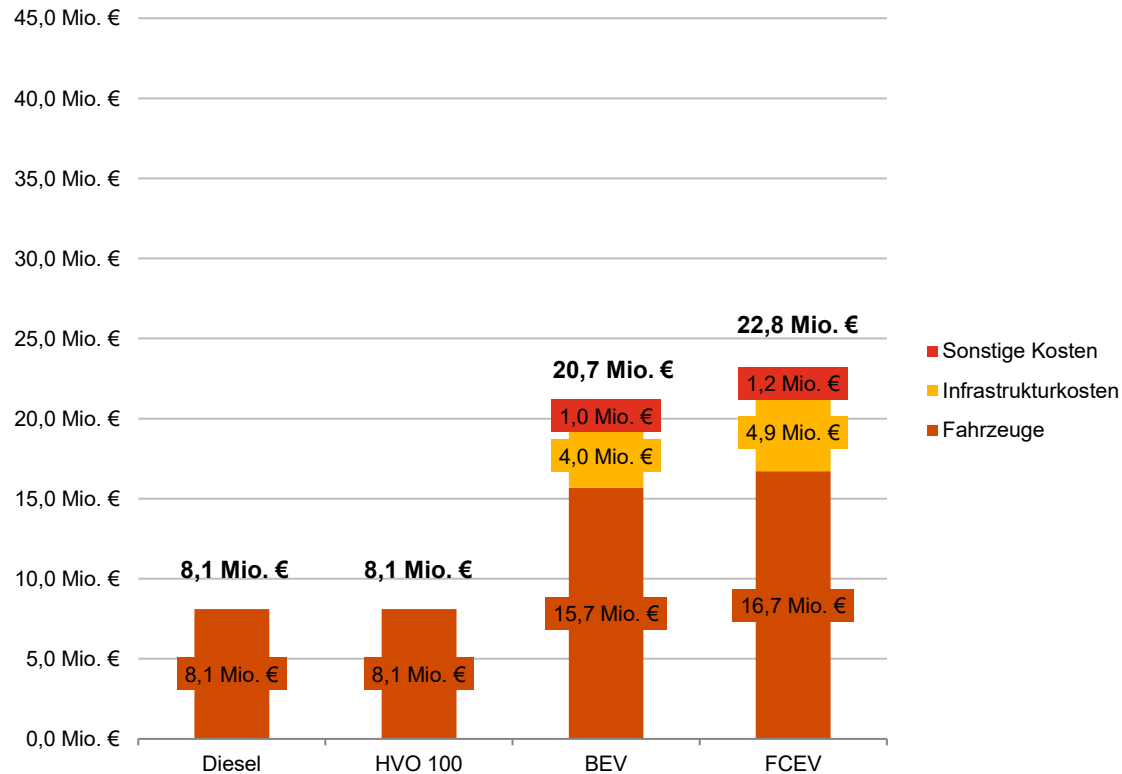
- 35 Fahrzeuge / Lade- bzw. Betankungspunkte
 - 28 Solo-Busse
 - 7 Klein-Busse
- Projektübergreifende Baubegleitung und Projektmanagement
- Betrachtung mit und ohne Förderung
- Integration von Ladeinfrastruktur unkritisch
- Integration von Betankungsinfrastruktur aufgrund fehlender Freiflächen kritisch → heuristische Aufbereitung, sofern Detailplanung erfolgreich

Annahmen Standort Weisen

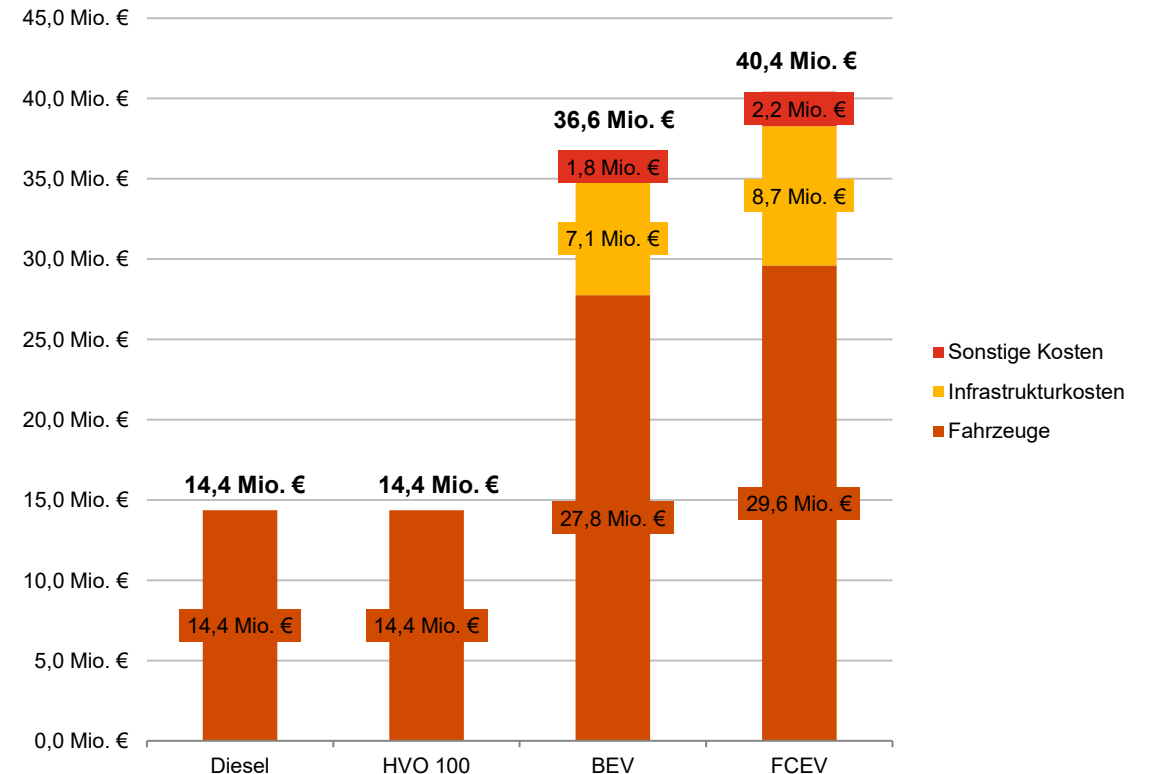
- 62 Fahrzeuge / Lade- bzw. Betankungspunkte
 - 39 Solo-Busse
 - 23 Klein-Busse
- Projektübergreifende Baubegleitung und Projektmanagement
- Betrachtung mit und ohne Förderung
- Betrachtung ohne Brandschutzmaßnahmen, ggf. werden diese gefordert (Abstimmung Feuerwehr / Versicherung)
- Integration von Ladeinfrastruktur unkritisch
- Integration von Betankungsinfrastruktur aufgrund fehlender Freiflächen kritisch → heuristische Aufbereitung, sofern Detailplanung erfolgreich

Finanzierungsbedarf, ohne Förderung

Investitionskosten Falkenhagen



Investitionskosten Weisen

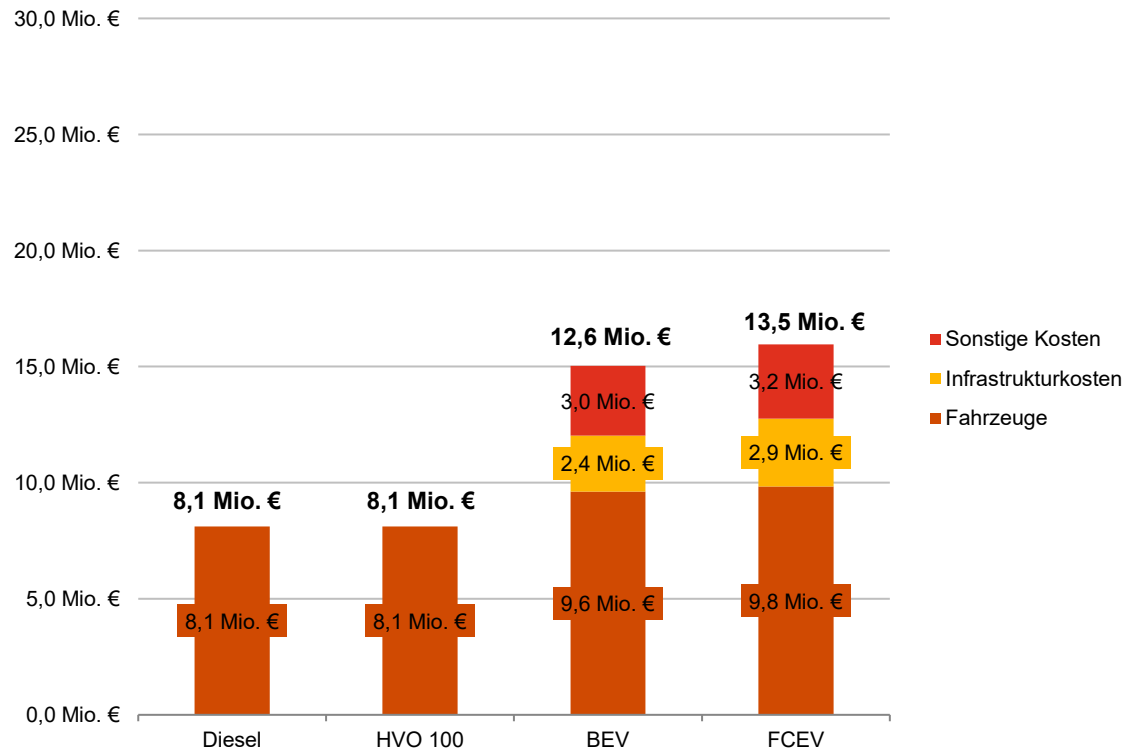


*Zu den sonstigen Kosten zählen u. a. das übergeordnete Projektmanagement, vorbereitende Maßnahmen sowie Baunebenkosten.

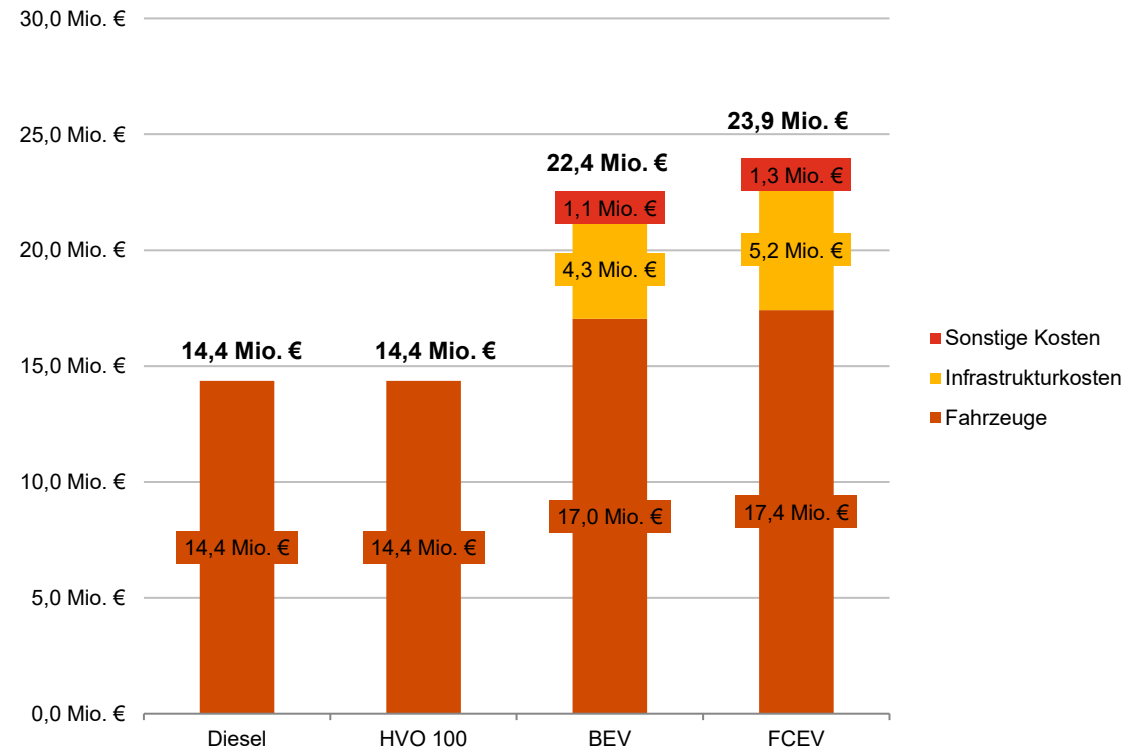
Dokumentation Machbarkeitsstudie zu alternativen Antrieben im ÖPNV im Landkreis Prignitz

Finanzierungsbedarf, mit Förderung

Investitionskosten Falkenhagen



Investitionskosten Weisen



*Zu den sonstigen Kosten zählen u. a. das übergeordnete Projektmanagement, vorbereitende Maßnahmen sowie Baunebenkosten.

Dokumentation Machbarkeitsstudie zu alternativen Antrieben im ÖPNV im Landkreis Prignitz

PwC

28. Mai 2026

185

Betrachtung des On Demand Verkehr – auch „Vans“ sind als Fahrzeugklassen M2 von der CVD betroffen

1

Die Clean Vehicles Directive (EU-Richtlinie 2019/1161) verpflichtet öffentliche Auftraggeber – einschließlich Landkreisen sowie von ihnen beauftragten Verkehrsunternehmen – zur Einhaltung verbindlicher Mindestziele bei der Beschaffung sauberer bzw. emissionsfreier Fahrzeuge. On-Demand-Fahrzeuge der Fahrzeugklasse M1 (Pkw/eVans), die im Rahmen des öffentlichen Personennahverkehrs eingesetzt werden (z. B. als Rufbus- oder Shuttleangebote), fallen ausdrücklich unter den Anwendungsbereich der Richtlinie und sind bei der Quotenerfüllung zu berücksichtigen.

2

Für Fahrzeuge der Klasse M1 gilt, dass im Referenzzeitraum 2021–2025 mindestens 38,5 % der neu beschafften Fahrzeuge als „sauber“ einzustufen sein müssen. Ab der zweiten Beschaffungsperiode 2026–2030 verschärfen sich die Anforderungen deutlich: In diesem Zeitraum gelten nur noch emissionsfreie Fahrzeuge (0 g CO₂/km) als „sauber“. Damit erfüllen batterieelektrische eVans die gesetzlichen Vorgaben vollständig und zählen zu 100 % als emissionsfrei. Ihre Beschaffung leistet somit einen direkten und uneingeschränkten Beitrag zur Zielerreichung nach CVD und SaubFahrzeugBeschG.

3

Die Vorgaben der CVD entfalten ihre Wirkung über das Vergaberecht. Dies bedeutet, dass die Quoten nicht nur bei der Eigenbeschaffung durch den Landkreis, sondern auch bei der Vergabe von Verkehrsleistungen an externe Betreiber einzuhalten sind. Werden On-Demand-Leistungen vertraglich an Drittanbieter vergeben, ist der Aufgabenträger verpflichtet, die CVD-Vorgaben gesamthaft sicherzustellen, indem im Verkehrsvertrag ein ausreichender Anteil sauberer bzw. emissionsfreier M1-Fahrzeuge verbindlich vorgegeben wird. On-Demand-Verkehre sind damit vollumfänglich CVD-relevant und erfordern – analog zum Linienverkehr – eine frühzeitige und vorausschauende Beschaffungs- bzw. Einsatzplanung für emissionsfreie Fahrzeuge.

4

Vor diesem Hintergrund sollte der Landkreis die Einführung von On-Demand-Verkehren strategisch mit der Flottenmodernisierung im ÖPNV verknüpfen. Durch den gezielten Einsatz batterieelektrischer eVans im Ruf- und On-Demand-Verkehr kann der Landkreis die gesetzlichen Mindestquoten komfortabel erfüllen oder sogar übererfüllen. Jedes zusätzlich eingesetzte emissionsfreie On-Demand-Fahrzeug erhöht den Anteil „sauberer“ Fahrzeuge im Sinne der CVD und reduziert zugleich den Handlungsdruck bei künftigen Beschaffungen und Vergaben. CVD-konforme eVans im On-Demand-Verkehr stellen damit einen zentralen Baustein einer rechtskonformen, nachhaltigen und zukunftsfähigen ÖPNV-Strategie des Landkreises dar.

Betrachtung des On Demand Verkehr – auch „Vans“ sind als Fahrzeugklassen M2 von der CVD betroffen



1

Prämissen LK Prignitz

- Vollkosten pro Fahrzeug-h: 55 €
- Fahrzeuganzahl: 22
- Fahrzeug-h gemäß On-Demand-Konzept: 142.811 h

2

Kalkulation

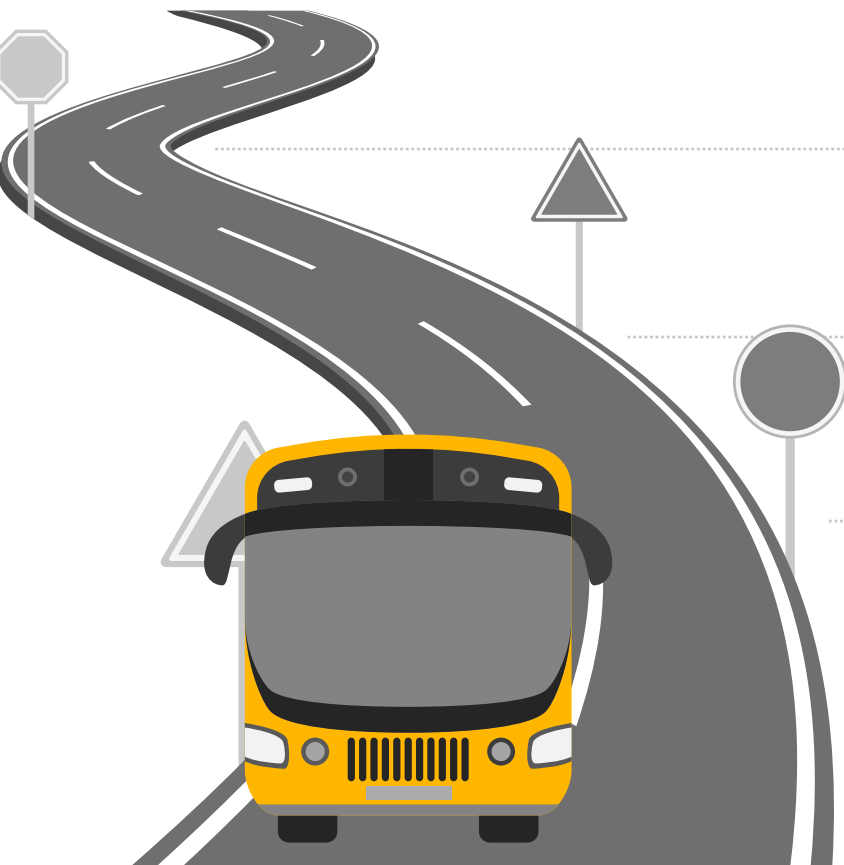
- Unter den getroffenen Prämissen würde der On-Demand-Verkehr pro Jahr ca. 7,9 Mio. € kosten. Dies entspricht Kosten i. H. v. ca. 357.000 € pro Fahrzeug exkl. Ladeinfrastruktur und den zugehörigen Kosten für Planung und Projektmanagement. Diese sind bereits in der Kosten-Betrachtung der Standort enthalten.

3

Schlussfolgerung

- Der On-Demand-Verkehr ist mit hohen spezifischen Betriebskosten verbunden, insbesondere aufgrund der langen Betriebszeiten und der Vorhaltung von Fahrzeugen auch in nachfrageschwachen Zeiträumen. Gleichzeitig leistet der Einsatz batterieelektrischer On-Demand-Fahrzeuge einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung der Beschaffungsquoten gemäß Clean Vehicles Directive (CVD). Erlöse aus dem THG-Quotenhandel können die Mehrkosten zwar nur in begrenztem Umfang kompensieren, stellen jedoch einen ergänzenden, systematisch nutzbaren Finanzierungsbaustein dar.

Fazit | Für den Landkreis Prignitz ist eine sukzessive Umstellung auf Batteriebusse gut umsetzbar sowie wirtschaftlich die günstigere emissionsfreie Umstellungsvariante



Die Fahrzeugbeschaffung sollte sukzessive erfolgen.

Durch die Erfüllung der gesetzlichen Mindestanforderungen können in den ersten Jahren die Mehrkosten gering gehalten und die erforderlichen infrastrukturellen Voraussetzungen für den Betrieb geschaffen werden.

Die Umstellung ist technisch und betrieblich umsetzbar.

Die Analysen zeigen, dass die sukzessiven Umstellungen ohne signifikanten Fahrzeug- und Personal-mehrbedarf umgesetzt werden können.

Die Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge ist wirtschaftlich vorteilhafter.

Die Investitionskostenrechnung zeigt, dass der Einsatz von Batteriebussen deutlich günstiger ist als der von Brennstoffzellenbusse (bis 2035 mehr als 0,44 €/Fpl.-km günstiger).

Eine Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge ermöglicht eine sukzessive Umstellung.

Durch den schrittweisen Ausbau der Ladeinfrastruktur in kleinen Systemeinheiten (für ≈ 8 Fahrzeuge) auf den Betriebshöfen ist eine sukzessive und flexible Umstellung entsprechend der Beschaffungsplanung möglich.

Fokusthema **THG-Einsparungen**

Für die Abschätzung der ökologischen Wirkung wurde eine umfangreiche Analyse der CO₂-Emissionen durchgeführt

Prämissen und Methodik

- **Datengrundlage:** spezifische Emissionsfaktoren (g CO₂e/km) gemäß *Begleituntersuchung zur Förderung von Elektrobussen im ÖPNV*, BMWK, veröffentlicht Ende 2024
- **Einheitliches Zieljahr 2030:** gewährleistet Vergleichbarkeit aller betrachteten Antriebsarten
- **Fahrzeugkategorien:** 12-m-Bus (Solo) [und 18-m-Bus (Gelenk) jedoch für LK Prignitz nicht relevant] sowie Klein
- **Berücksichtigte Antriebe:** Diesel (Referenz), BEV, O-Bus, FCEV (SMR-H₂), FCEV (Elektrolyse-H₂)
- Strombezug in allen Fällen entsprechend des deutschen Strommixes
- **zunächst einheitliche Fahrleistung:** 55.000 km pro Jahr
- **Lebensdauer:** 12 Jahre → 660.000 km
- Anschließend Berücksichtigung des Leistungsbilds LK Prignitz (Wagen-km)
- **Batterietausch BEV:** optional berücksichtigt, je nach Modellvariante
- **Bewertungssystematik:**
 - spezifische Emissionsdifferenzen (g CO₂e/km)
 - jährliche Einsparung (t CO₂e)
 - lebenszyklusbezogene Einsparung (12 Jahre)
- **keine Berücksichtigung:** Infrastruktur-Emissionen, Netzausbau, Sekundäreffekte



12-m-Bus (Solobus) – g CO₂e pro km

Kategorie	Diesel	BEV	O-Bus	FCEV (SMR)	FCEV (Elektrol.)
Herstellung / End-of-Life	59	137	72	92	92
Auspuffemissionen	911	–	–	–	–
Energiebereitstellung	325	459	427	1.078	1.496
Batteriewechsel (optional)	–	36	–	–	–
Summe ohne Batteriewechsel	1.295	596	499	1.170	1.588
Summe inkl. optionalem Batteriewechsel	–	632	–	–	–

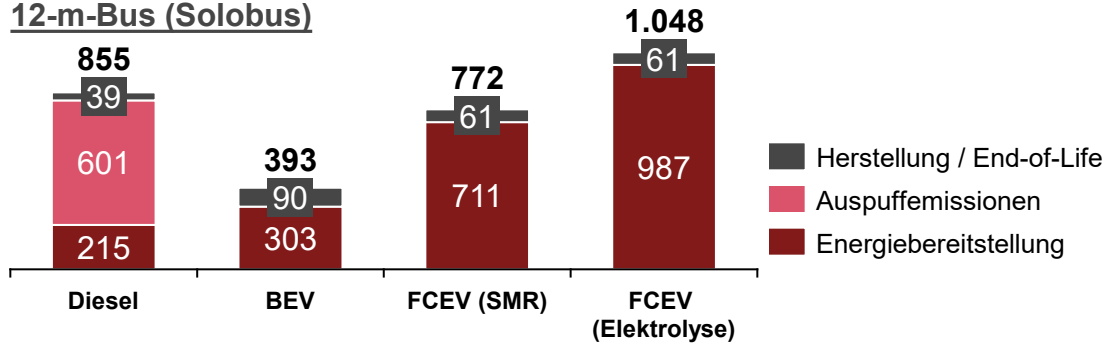
Vans (M1) – g CO₂e pro km

Kategorie	Diesel	BEV	FCEV (SMR)	FCEV (Elektrol.)
Herstellung / End-of-Life	25	55	35	35
Auspuffemissionen	270	–	–	–
Energiebereitstellung	115	160	380	525
Batteriewechsel (optional)	–	15	–	–
Summe ohne Batteriewechsel	410	215	415	560
Summe inkl. optionalem Batteriewechsel	–	230	–	–

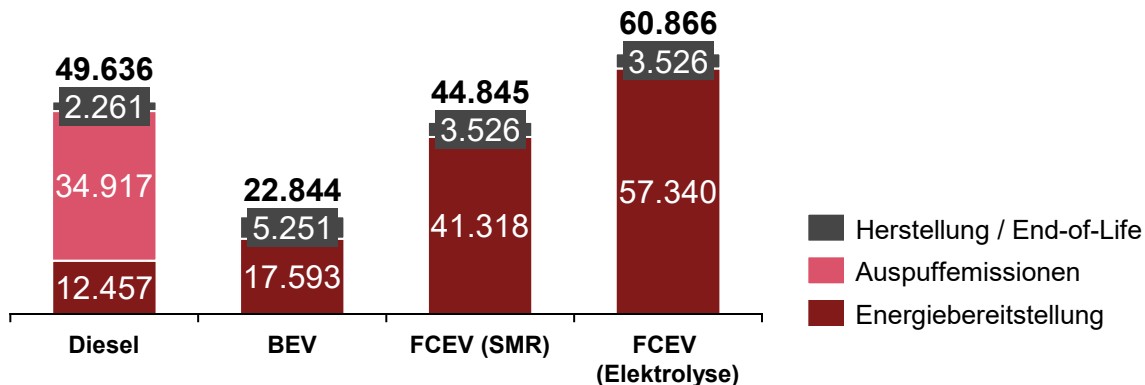
Batteriebusse erzielen die mit Abstand höchsten CO₂-Einsparungen

Abschätzung Emissionen für die Fahrzeuglebensdauer - in t CO₂e

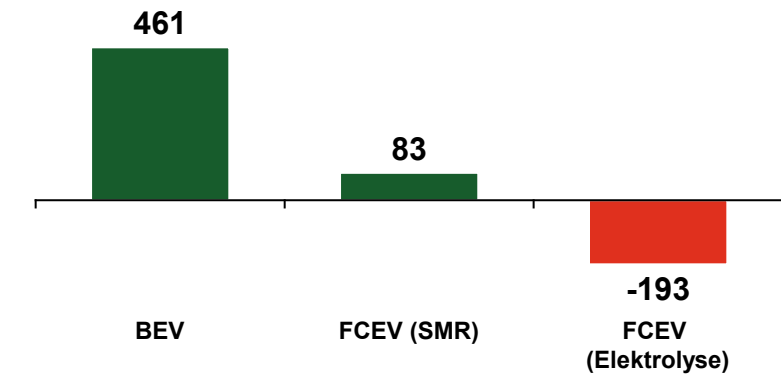
12-m-Bus (Solobus)



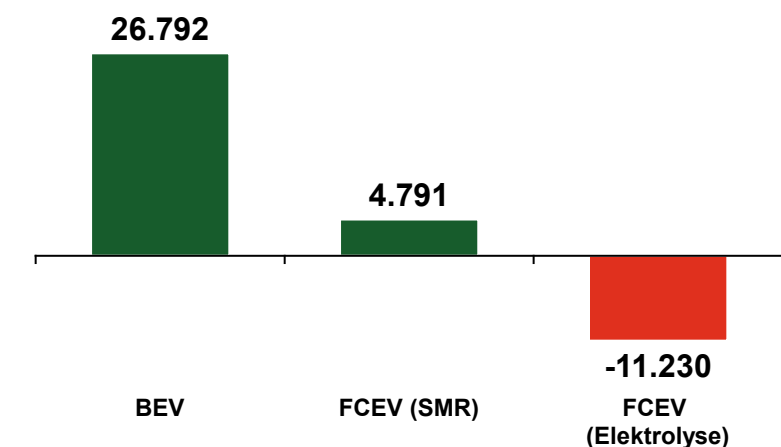
Abschätzung Emissionen für das neugeplante Leistungsbild im LK Prignitz für die Fahrzeuglebensdauer (Basis Fahrplan-Kilometer gem. Folie 36) in t CO₂e



Abschätzung Einsparpotential in t CO₂e

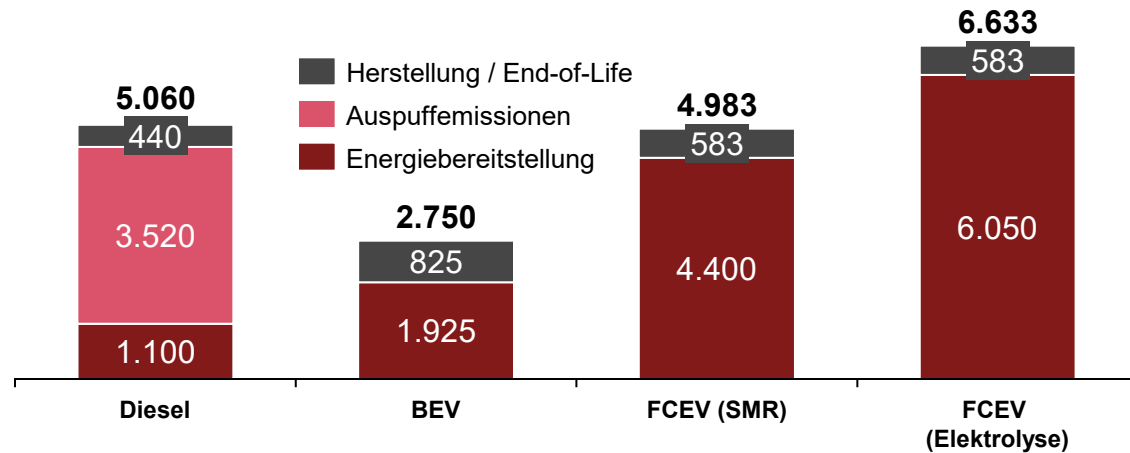


Abschätzung Einsparpotential in t CO₂e

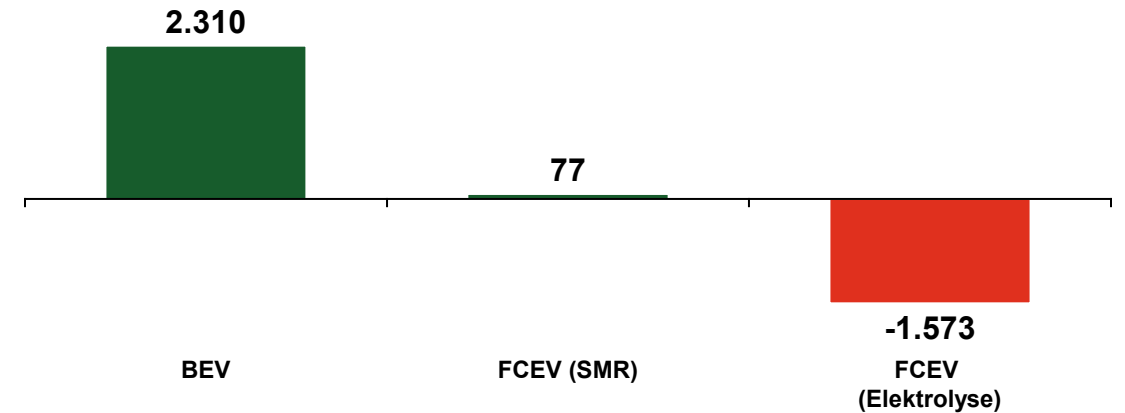


CO₂-Einsparungen im On-Demand-Verkehr

Abschätzung Emissionen für die Fahrzeuglebensdauer von 22 Fzg. in t CO₂e



Abschätzung Einsparpotential für 22 Fzg. in t CO₂e



Durch die Umstellung auf einen emissionsfreien On-Demand-Verkehr könnten über die Fahrzeuglebensdauer der Flotte hinweg 2.310 t CO₂ eingespart werden.

Fokusthema

Förderung und Betriebskostenoptimierung

Es bestehen unterschiedliche Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten bei der Einführung von E-Bussen – eine neue Bundesförderung soll zeitnah veröffentlicht werden



BMV: Förderung der Anschaffung von Elektrobussen im ÖPNV

geplante Förderung von 80 % der Mehrkosten von E-Bussen und 40 % der Kosten für Ladeinfrastruktur

Programm-Neuaufgabe in Kürze erwartet !!!



KfW: Investitionskredit „Nachhaltige Mobilität“ (268/269)

zinsvergünstigte Darlehen für die Beschaffung von E-Bussen sowie Ladeinfrastruktur



Energiefinanzierungsgesetz: §38

Reduzierung der Stromumlagen



Stromsteuergesetz (StromStG): §9c

Entlastung der Stromsteuer

THG-Quotenhandel

Erzielung von Erlösen durch Teilnahme am THG-Quotenhandel



Rückblick: Die Bundesförderung verstand sich als Fahrzeugförderung, jedoch wurden auch notwendige Infrastrukturen gefördert

Förderquoten 4. Aufruf

80 %

Busse

förderfähige Ausgaben:

- **Investitionsmehrkosten der Anschaffung** im Vergleich zu den Anschaffungskosten eines Dieselreferenzfahrzeugs (Pauschalwert). Es sind Preisobergrenzen für die zu fördernden Fahrzeuge vorgegeben.
- Neufahrzeuge (→max. 1 Jahr und 25.000km) oder Umrüstungen.
- Garantiezeiten von max. 5 Jahren sind förderfähig.
- **Antriebe:** Batterie, Batterieoberleitung, Brennstoffzelle, Brennstoffzelle Range Extender.



40 %

Lade-/Tankinfrastruktur

förderfähige Ausgaben:

- Die förderfähigen Ausgaben (**Investitionskosten**) der Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur - für die links genannten Busse - sind die mit der Errichtung der Infrastruktur verbundenen Ausgaben für materielle (z. B. Transformator) und immaterielle Vermögenswerte, sofern diese vom Antragsteller **steuerrechtlich aktiviert** werden. Auch Planungskosten sind förderfähig.
- **nicht förderfähig** z. B.: zusätzliche Grundstücke, Netzanschluss, Elektrolyseure.



40 %

Wartungsinfrastruktur

förderfähige Ausgaben:

- **Investitionskosten** für Wartungsinfrastruktur sind förderfähig, sofern es sich um eindeutig für den Einsatz von Batterie- oder Brennstoffzellenbussen notwendige zusätzliche Investitionen handelt. Dies können zum Beispiel Wasserstoffsensoren, spezielle Lüftungs- und Beleuchtungssysteme oder Hochvoltausrüstungen in Werkstätten und Depotgaragen sein.
- **nicht förderfähig** z. B.: Personal, Schulungen, Wartungsdienstleistungen/-durchführung.



keine Förderung für bereits ausgeschriebene oder bestellte Gegenstände

Rückblick: Die Preisobergrenzen (Nettopreise) bestimmten den maximalen Förderbetrag

Preisobergrenzen 4. Aufruf

EG-Fahrzeug-klasse	Dieselreferenz	1.1 Batterie	1.2 Brennstoffzelle	1.1 Batterie (Umrüstung)	1.2 Brennstoffzelle (Umrüstung)
M2	150.000 Euro	270.000 Euro	340.000 Euro	100.000 Euro	170.000 Euro
M3 bis 10,6 m	275.000 Euro	450.000 Euro	550.000 Euro	230.000 Euro	220.000 Euro
M3 10,6 m – 16 m	311.000 Euro	570.000 Euro	590.000 Euro	340.000 Euro	360.000 Euro
M3 ab 16 m	410.000 Euro	730.000 Euro	800.000 Euro	410.000 Euro	480.000 Euro



Fördervolumen pro Fahrzeug:
Förderquote 80%

Solo BEV: 207.200 €
Solo FCEV: 223.200 €

Gelenk BEV: 256.000 €
Gelenk FCEV: 312.900 €



Kumulierung mit Landesmitteln teilweise möglich

Rückblick: Vierter Aufruf der BMV E-Bus-Förderung mit einer Vorhabenslaufzeit von 3 Jahren

Zeitstrahl 4. Aufruf



- **Mindesthaltedauer Fahrzeuge:**
2 Jahre
- **Zweckbindungsfrist:**
5 Jahre

Rückblick: Der Fördermittelgeber priorisierte die Förderskizzen anhand unterschiedlicher Faktoren

Durch detaillierte Ausrichtung der Förderskizzen an den komplex vorgegebenen Priorisierungsmodellen, konnte die Förderwahrscheinlichkeit deutlich erhöht werden

Priorisierungskriterien 4. Aufruf

Priorisierungsfaktoren

- **CO₂-Vermeidung:**
voraussichtliche CO₂-Vermeidung unter Berücksichtigung der **Fahrleistung** der Busse mit alternativem Antrieb,
- **notwendige Fördermittel** (unter Berücksichtigung bereits erfolgter Förderung),
- **Einsatzkontext:**
Einsatzkontexte der Busse auf Basis der Verkehrsarten gemäß dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG),
- **Elektrifizierungsgrad der Gesamtflotte:**
Anteil an der Gesamtflotte, welcher auf alternative Antriebe (in diesem Förderaufruf) umgestellt werden soll, ggf. Anteil der bereits auf alternative Antriebe umgestellten Fahrzeuge gemessen am Gesamtbestand,
- Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Energien.



wesentliche Stellschrauben zur Optimierung der Projektskizzen



Elektrifizierungsgrad der Gesamtflotte:
Anteil der umgestellten Flotte



Fördereffizienz
notwendige Fördermittel (Anschaffungspreise Busse, Einbezug Ladeinfrastruktur) / CO₂-Vermeidung (Fahrleistung)
→ Diese Punkte werden innerhalb der jeweiligen Kategorien bewertet und priorisiert.

Neben Fördermitteln bestehen weitere Entlastungsmöglichkeiten für den laufenden E-Bus-Betrieb

Begrenzung der Stromumlagen nach EnFG (§38)

Was wird begrenzt?

- Umlagenbestandteile auf 20 %
- gilt für Strom, der unmittelbar für E-Busse im Linienverkehr genutzt wird

Voraussetzungen?

- Mind. 100 MWh selbst verbrauchter Strom im letzten Geschäftsjahr
- Strom wird unmittelbar für den Fahrbetrieb verwendet
- **De-minimis Grenze beachten**

Entlastung der Stromsteuer nach StromStG (§9c)

Was wird entlastet?

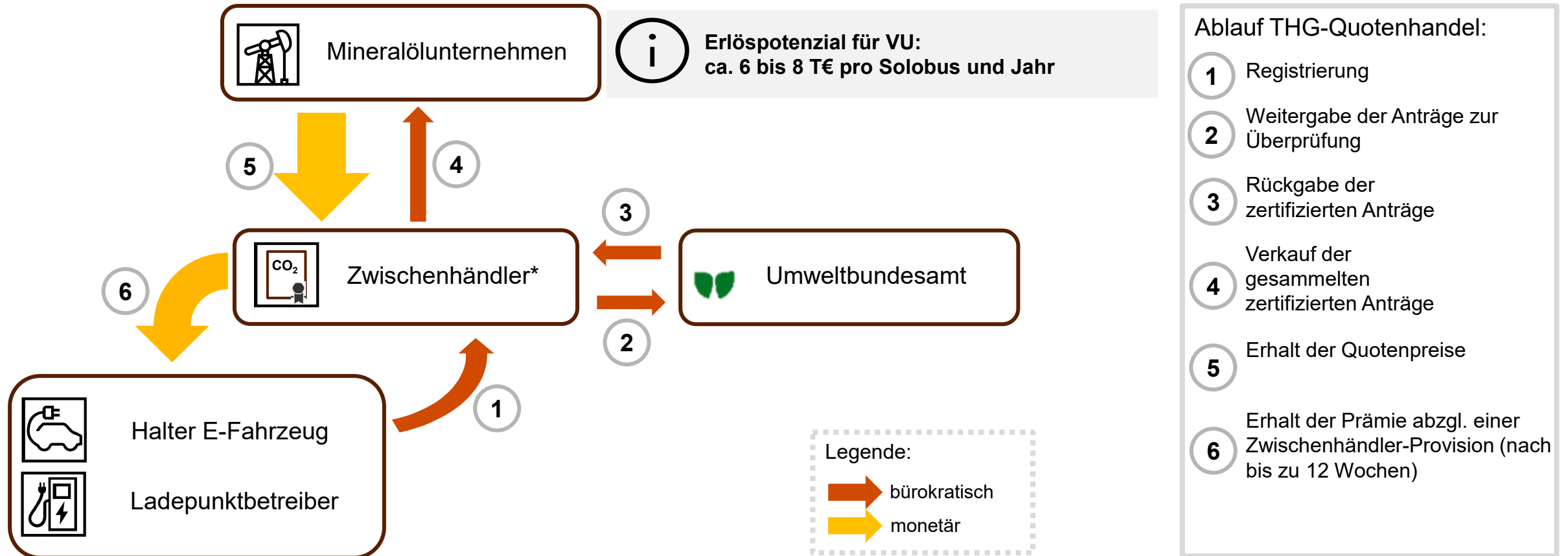
- Stromsteuer für E-Busse, die im Linienverkehr eingesetzt werden

Voraussetzungen?

- nachweislicher Einsatz im Fahrbetrieb
- separate Erfassung / Dokumentation erforderlich
- Behilferecht muss beachtet werden
- Antragsverfahren über zuständiges Hauptzollamt



THG-Quotenhandel wird derzeit üblicherweise über einen Zwischenhändler abgewickelt



Durch den THG-Quoten-Handel sind zusätzliche Erlöse von ~ 5 - 15 T€ pro Batteriebus und Jahr *möglich*



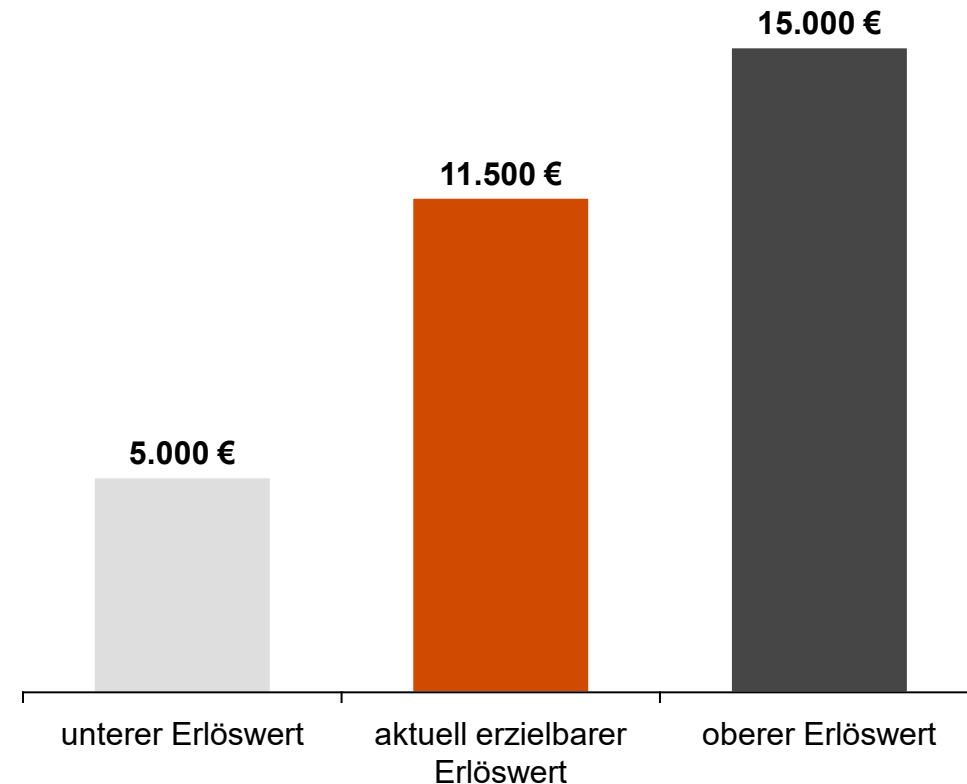
Der Quotenpreis ist insbesondere abhängig von der jährlichen THG-Quote und dem vorherrschenden Marktpreis je Tonne CO₂

Berechnung je Fahrzeug

- 1. Netto-THG-Minderung [t CO₂]**
Berechnung mit: THG-Emissionen Kraftstoff, THG-Quote, THG-Emissionen Strommix, Faktor Antriebseffizienz, durchschnittlicher Verbrauch nach Fahrzeugklasse
- 2. Quotenpreis**
= Netto-THG-Minderung [t CO₂] * Preis/ Tonne CO₂ [€ / t CO₂]
- 3. effektiver Erlös**
= Quotenpreis – (Quotenpreis * Provision Zwischenhändler)

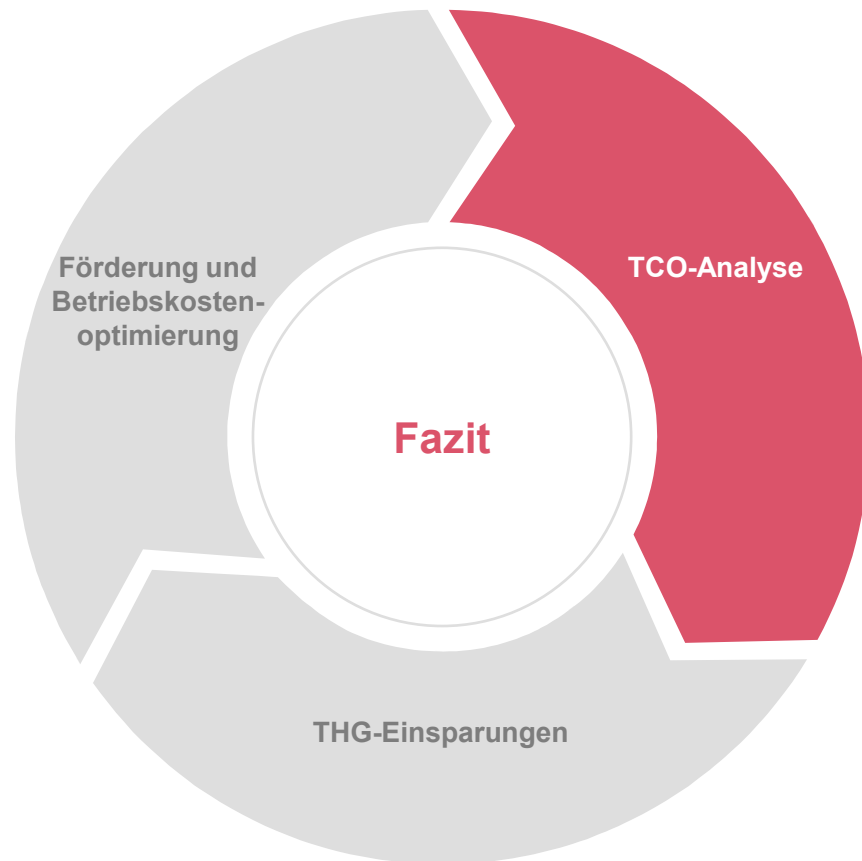


Provisionen liegen je nach Zwischenhändler bei 10 – 20 % des Quotenpreises



Fazit

TCO-Analyse

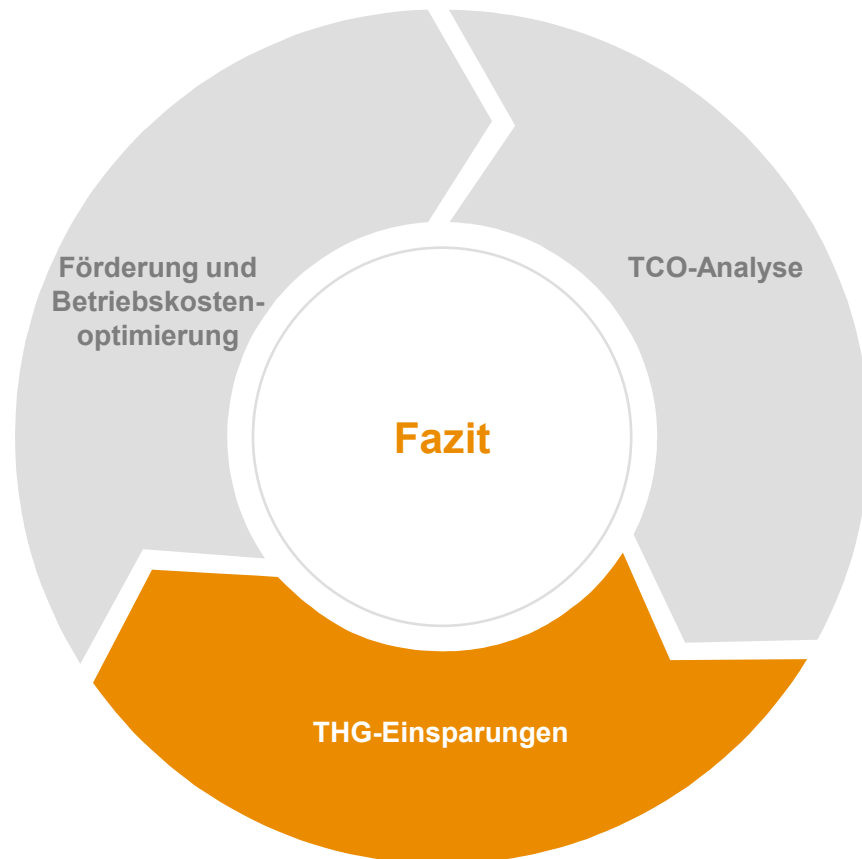


TCO-Analyse

- **BEV sind die wirtschaftlich günstigste emissionsfreie Antriebsoption** über alle Betrachtungsjahre (2026, 2030, 2035).
- **FCEV sind durch hohe Wasserstoffkosten und geringere Energieeffizienz deutlich teurer** als BEV.
- **HVO100** kann Diesel kurzfristig-mittelfristig sinnvoll ersetzen und zur Erfüllung der „sauberen“ CVD-Quote beitragen
- Die Mehrinvestitionen für BEV können **nicht vollständig durch geringere Energiekosten kompensiert werden**, bleiben aber im Vergleich zu FCEV moderat.
- Break-Even-Analysen zeigen:
 - Wasserstoffpreise müssten extrem sinken ($\approx 2,6\text{--}2,9 \text{ €/kg}$), um FCEV wettbewerbsfähig zu machen.
 - Strompreise müssten sich mehr als verdoppeln, damit BEV ihre Kostenvorteile verlieren.

Fazit

THG-Einsparungen

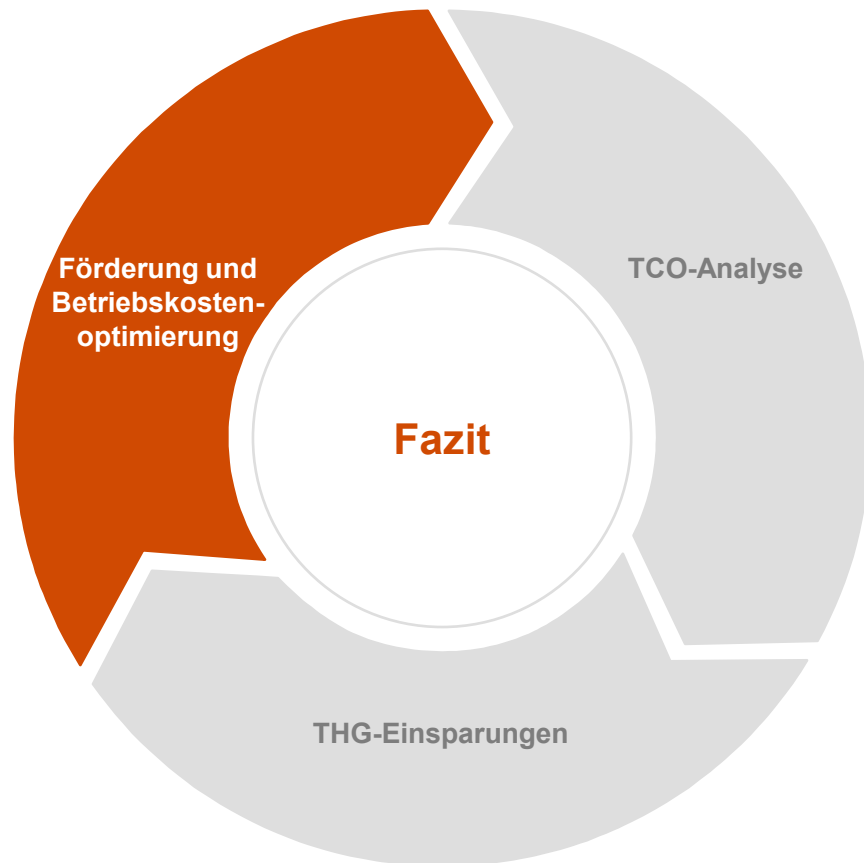


THG-Einsparungen

- **BEV erzielen die höchsten CO₂-Einsparungen.**
- Ein 12-m-Dieselsbus verursacht über den Lebenszyklus rund **1.300 g CO₂e/km**, ein BEV etwa **600 g CO₂e/km**.
- Bei 18-m-Bussen ist der Unterschied noch deutlicher.
- **FCEV schneiden stark abhängig von der Wasserstoffherkunft ab:**
 - SMR-Wasserstoff: nur begrenzte Einsparungen gegenüber Diesel (Annahme Strommix)
 - Elektrolyse-Wasserstoff: teilweise sogar höhere Emissionen als Diesel (Annahme Strommix)
- Batterieherstellung erhöht zwar die Herstellungs-Emissionen, wird aber durch **den emissionsfreien Betrieb deutlich überkompensiert.**

Fazit

Förderung und Betriebskostenoptimierung



Förderung und Betriebskostenoptimierung

■ Bundesförderung Elektrobusse:

- bis zu **80 % der Mehrkosten** für Fahrzeuge
- **40 % für Lade-/Tankinfrastruktur**

■ KfW-Kredite für nachhaltige Mobilität

■ betriebliche Entlastungen:

- reduzierte Stromumlagen (EnFG §38)
- Stromsteuerentlastung (StromStG §9c)

■ THG-Quotenhandel:

- zusätzliche Erlöse von **ca. 5–15 T€ pro Batteriebus und Jahr**

6

Schlussfolgerungen und
Handlungsempfehlungen



Die technischen Analysen belegen, dass **alle geplanten Umläufe bereits heute mit batterieelektrischen Fahrzeugen zuverlässig abbildbar sind**. Weder Reichweiten noch Ladezeiten stellen unter den gegebenen Umlauf- und Betriebshofbedingungen ein Hemmnis dar. Auch aus betrieblicher Sicht ergeben sich keine relevanten Nachteile: Es ist **kein zusätzlicher Fahrzeug- oder Personalbedarf erforderlich** und die bisher bestehenden Betriebshofstrukturen sind grundsätzlich für den Einsatz von E-Bussen geeignet. Für die Umsetzung des Umlaufplans ist jedoch die Einrichtung eines neuen Betriebshofs in Prignitz-Falkenhagen erforderlich. Dies gilt unabhängig von der Antriebstechnologie für emissionsfreie und konventionelle Fahrzeuge.

Die wirtschaftliche Analyse zeigt klar, dass **BEV** für den Landkreis die **wirtschaftlich günstigste emissionsfreie Antriebsoption** darstellen. Zwar liegen die Investitionskosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur über denen konventioneller Dieselmotoren, diese Mehrkosten werden jedoch über die Lebensdauer durch deutlich geringere Energie- und Instandhaltungskosten teilweise kompensiert. **Im Vergleich zu Brennstoffzellenbussen** ergeben sich bis 2035 **signifikante Kostenvorteile** von mehr als 0,44 €/Fahrplankilometer. Damit sind **BEV** aus wirtschaftlicher Sicht die **bevorzugte Technologie** für die Transformation der Busflotte.






Eine **sukzessive Beschaffung der Fahrzeuge** und ein **stufenweiser Aufbau der Ladeinfrastruktur** ermöglichen es, die finanziellen Belastungen über mehrere Jahre zu verteilen. Gleichzeitig können so die **gesetzlichen Mindestanforderungen** aus CVD und SaubFahrzeugBeschG eingehalten werden, **ohne frühzeitig hohe Mehrkosten auszulösen**. Der schrittweise Ansatz erlaubt es zudem, **technologische Weiterentwicklungen, Marktreifeeffekte und zukünftige Förderprogramme** gezielt zu berücksichtigen und in die Beschaffungsstrategie einzubeziehen.

Die Elektrifizierung auf Basis von Batteriebussen bietet eine **hohe Flexibilität in der Umsetzung**. Durch die **modulare Installation** einzelner Ladepunkte kann die Infrastruktur **bedarfsgerecht mit dem Flottenhochlauf mitwachsen**. Gleichzeitig unterstützt dieser Ansatz die langfristigen **Klimaziele des Bundes**, da batterieelektrische Busse über den gesamten Lebenszyklus **deutliche CO₂-Einsparungen** erzielen.

Insgesamt ermöglicht der BEV-Ansatz eine planbare, risikoarme und nachhaltige Transformation des ÖPNV.





Für die Umsetzung des Umlaufplans ist die Einrichtung eines **neuen Betriebshofs in Prignitz-Falkenhagen erforderlich. Dies gilt unabhängig von der Antriebstechnologie** für emissionsfreie und konventionelle Fahrzeuge.

Das benannte Grundstück ist auf Konzeptebene sehr gut für den Aufbau eines Betriebshofs geeignet. Im Zuge eines (unvermeidbaren) Neubaus können die Anforderungen an elektrische Ladeinfrastruktur (oder H₂ Tankanlagen) bereits in frühen Planungsphasen berücksichtigt werden.

Ihre Ansprechpartner



Maximilian Rohs
Director
Public Transport Leader
PwC Düsseldorf

Georg-Glock-Straße 22
40474 Düsseldorf
Tel. +49 211 981-4252
Mobil +49 170 2210268
maximilian.rohs@de.pwc.com



Felix Krewerth
Manager
PwC Düsseldorf

Georg-Glock-Straße 22
40474 Düsseldorf
Tel. +49 211 9814-382
Mobil +49 160 6200709
felix.krewerth@pwc.com



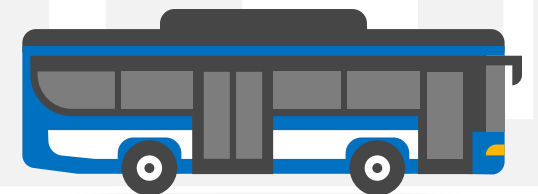
Jürgen Langwost
Geschäftsführer Technik
eebc European Electrical
Bus Company GmbH

Haus Gravener Str. 159
40764 Langenfeld
Tel. +49 2173 893 2873
Mobil +49 172 4016655
j.langwost@eebc.gmbh



Dr. Jan Eller
Principal, Strategy
Via Mobility DE GmbH

Rosa-Luxemburg-Str. 14
10178 Berlin
Mobil +49 1578 555 3089
jan.eller@ridewithvia.com



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

[pwc.de](https://www.pwc.de)

© 2026 PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft.

Alle Rechte vorbehalten. "PwC" bezeichnet in diesem Dokument die PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, die eine Mitgliedsgesellschaft der PricewaterhouseCoopers International Limited (PwCIL) ist. Jede der Mitgliedsgesellschaften der PwCIL ist eine rechtlich selbstständige Gesellschaft.