



## Herausforderungen und Erfahrungen bei der Elektrifizierung der Linie 17

BERNMOBIL, Thomas Ledergerber, Leiter Netzmanagement

Experten-Seminar Dekarbonisierung/Elektrifizierung des städtischen ÖV vom 22. März 2019

## Inhalt

- A) Warum Linie 17?
- B) Herausforderungen
- C) Erfahrungen



- Streckenlader = Opportunity charger = Gelegenheitslader
- Garagenlader = Overnight charger = Depotlader = Einmallader = Standardlader

## A) Warum Linie 17?

Innerhalb der Strategie von BERNMOBIL erfolgte ein konkreter Auftrag des Verwaltungsrates: Umstellen einer anspruchsvollen Linie für einen vollelektrischen Pilotbetrieb (kein Test mit einzelnen Fahrzeugen).

Auswahl der Linie 17:

- Prominente Stadtlinie mit Gelenkbussen
- Verbindung von zwei Zentren (Bern Bahnhof, Köniz), einfache Topografie
- Genügend Wendezeiten für Ladevorgänge (falls opportunity charger)

Chronologie

- 2014/2015: Erste Konzepte
- 2016: Beschluss Durchführung eines Pilotbetriebes (5 Gasbusse bleiben als Ersatzfahrzeuge zur Not vorhanden)
- 2018 Dezember: Inbetriebnahme Linie 17 mit 5 vollelektrischen Gelenkbussen
- 2022: Ende des 4-jährigen Pilotbetriebs

## A) Warum Linie 17?

### Linienportrait

- Städtische Hauptlinie (Radiallinie)
- 5 Gelenkbusse während Hauptverkehrszeiten
- Takt: zwischen 7.5 min und 15 min
- Streckenlänge: 4.5 km, Umlauf 9 km
- 13 Haltestellen
- Wendezeiten gemäss Fahrplan nur an der Endhaltestelle Köniz-Weiermatt
- Am Bahnhof Bern keine nennenswerte Aufenthaltszeit, zudem UNESCO
- Nur 1-2 Umläufe relativ kurz:

Fahrzeug- umlauf	Leistungsmasse pro Tag	
	km	Std.
1	262.84	19.1
2	140.37	10.1
3	183.58	13.5
4	254.03	18.5
5	218.81	16.2



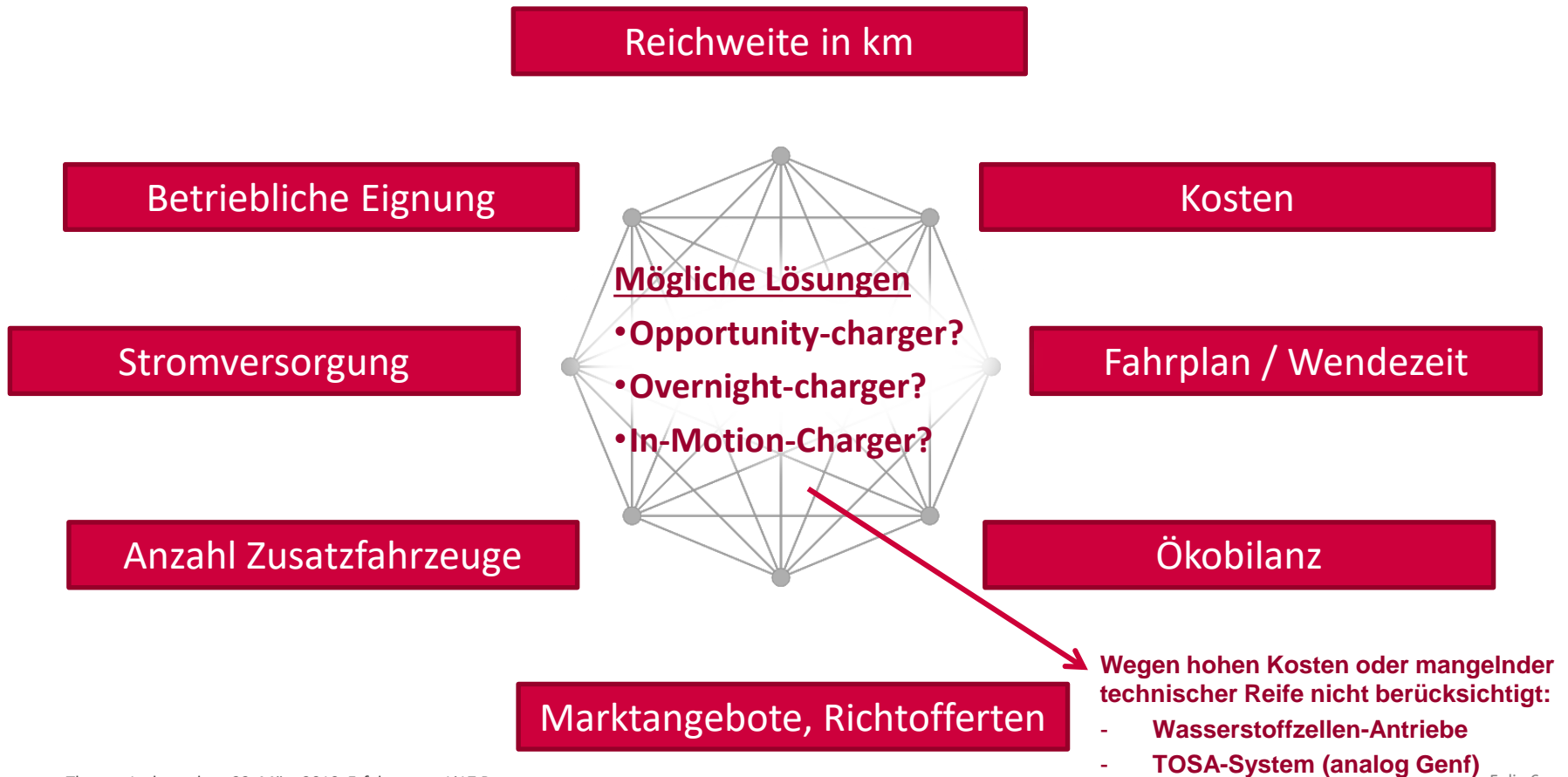
## **B) Herausforderungen**

- B1) «Richtige» Antriebstechnologie für die Linie 17?**
- B2) Wie gross soll die Batterie im Fahrzeug sein?**
- B3) Braucht es Zusatz-Fahrzeuge?**
- B4) Berechnung Mehrkosten Linie 17**
- B5) Zwei Fragen vor der Ausschreibung**
- B6) Bau der Ladeinfrastruktur**
- B7) Finanzierung der Mehrkosten**
- B8) Alle Unternehmensbereiche betroffen**



## B1) „Richtige“ Antriebstechnologie für die Linie 17?

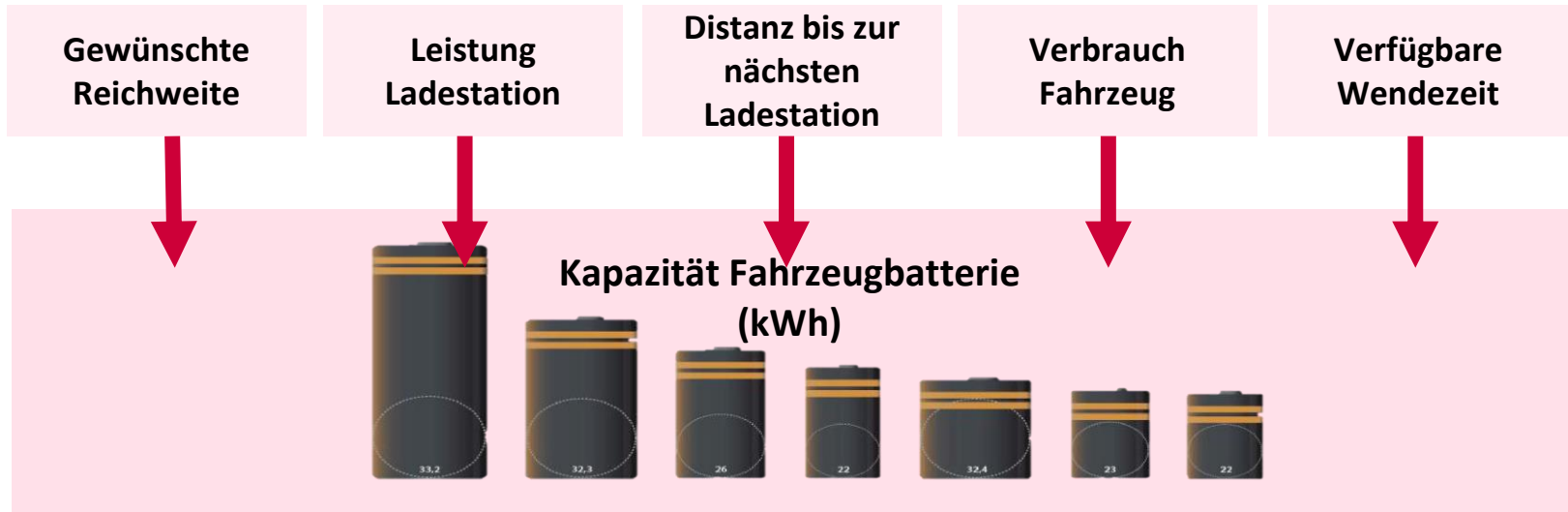
- Viele Faktoren berücksichtigen!



## B1) „Richtige“ Antriebstechnologie für die Linie 17?

- **Trolleybus / IMC** → 😞
  - Hohe Kosten für Fahrleitung bei Linie 17 mit 80% Fahrleitungsanteil
  - Langwierige Plangenehmigung
- **Overnight charger** inkl. langsam laden tagsüber → 😞
  - Reichweite zu gering (ca. 150km)
  - Zusätzliches Fahrzeug notwendig und zusätzliche Betriebsstunden notwendig für Ein- und Ausfahrten, grosse Batterie (negativ für Ökobilanz)
  - Kosten ähnlich wie Opportunity charger, tiefer als IMC
- **Opportunity charger** → 😊
  - 1 Schnell-Ladestation an der Endhaltestelle
  - Kein zusätzliches Fahrzeug nötig
  - Bessere Absicherung bei Stromversorgungslücken als Overnight charger

## B2) Wie gross soll die Batterie im Fahrzeug sein?



### Linie 17 – Vorgabe

- Vorgabe Reichweite: Mindestens 4 Umläufe à 10 km = ca. 40km
- Ladestation mit 450 kW Leistung (brutto)
- Verbrauch im Winter ca. 3 kWh / km (worst case)
- **Errechnete nutzbare Batteriegrösse: mindestens 120 kWh**

### Linie 17 Lösung

- Batteriekapazität = 153 kWh, davon **122 kWh nutzbar** (80%)
- Gewicht Batterien ca. 1.8 Tonnen
- Typ Hochleistungsbatterie NMC-Lithium-Ionen-Technologie; NMC = Nickel-Mangan-Cobalt

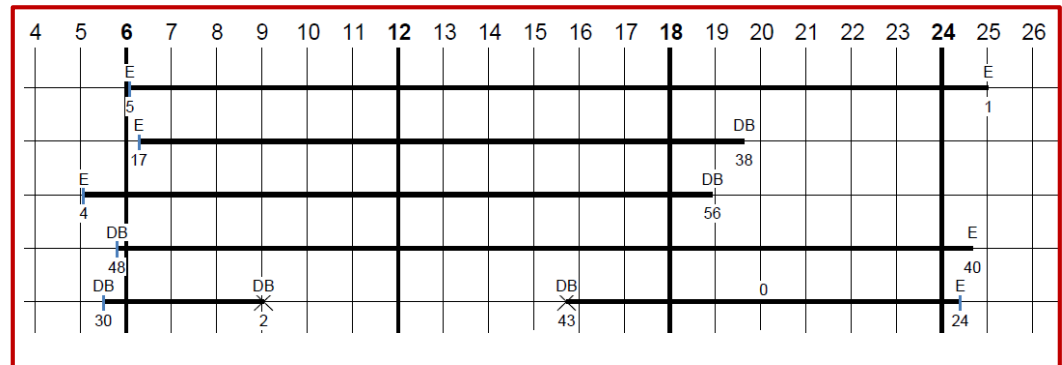


### B3) Braucht es Zusatz-Fahrzeuge?

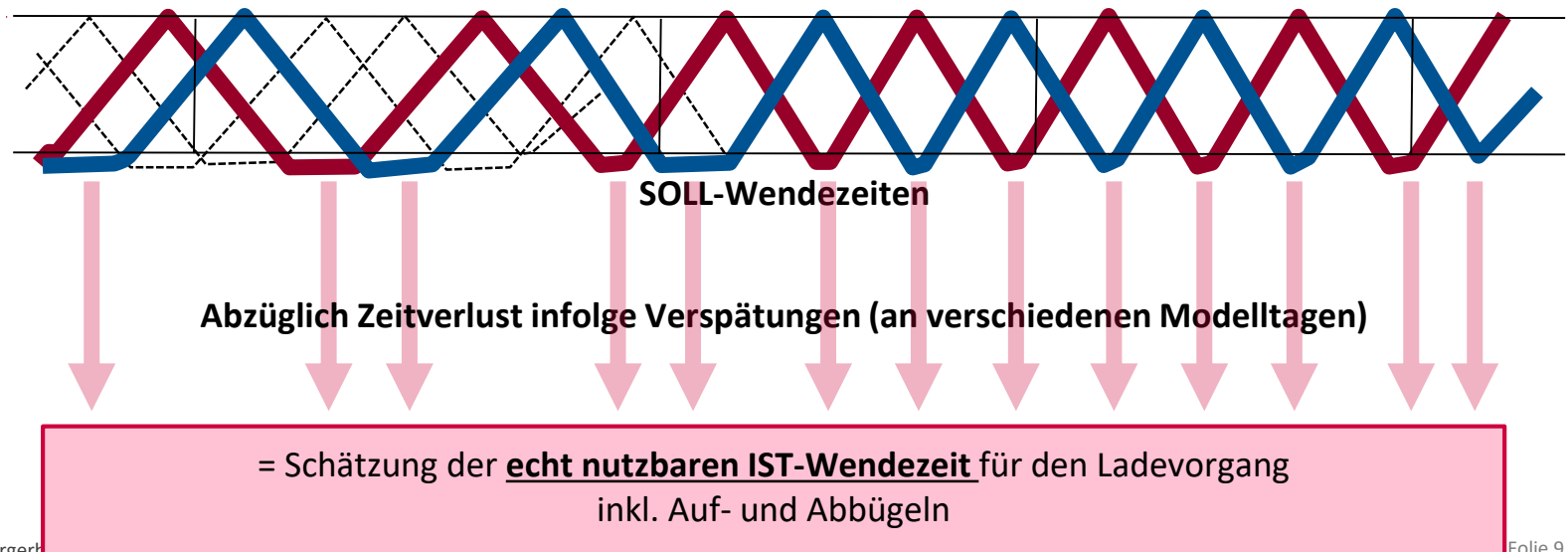
-> Nein! Linie 17 kann mit 5 Opportunity-charger-Fahrzeugen betrieben werden

Analysen notwendig:

- Fahrzeugumläufe



- Nutzbare Wendezeiten inkl. Verspätungen: «Modelltage» simulieren



## B4) Berechnung Mehrkosten Linie 17

### Mehrinvestitionen, einmalig

- Fahrzeuge + 50% bis +100% gegenüber Diesel/Hybridbus
- Ladeinfrastrukturen Haltestelle Köniz-Weiermatt: Ca. 1.0 Mio.
- Ladeinfrastrukturen Depot Eigerplatz: Ca. 0.2 Mio.
- Totale Investitionen für 4-jährigen Pilotbetrieb **über 4 Mio.**

### Mehrkosten während Betrieb, wiederkehrend

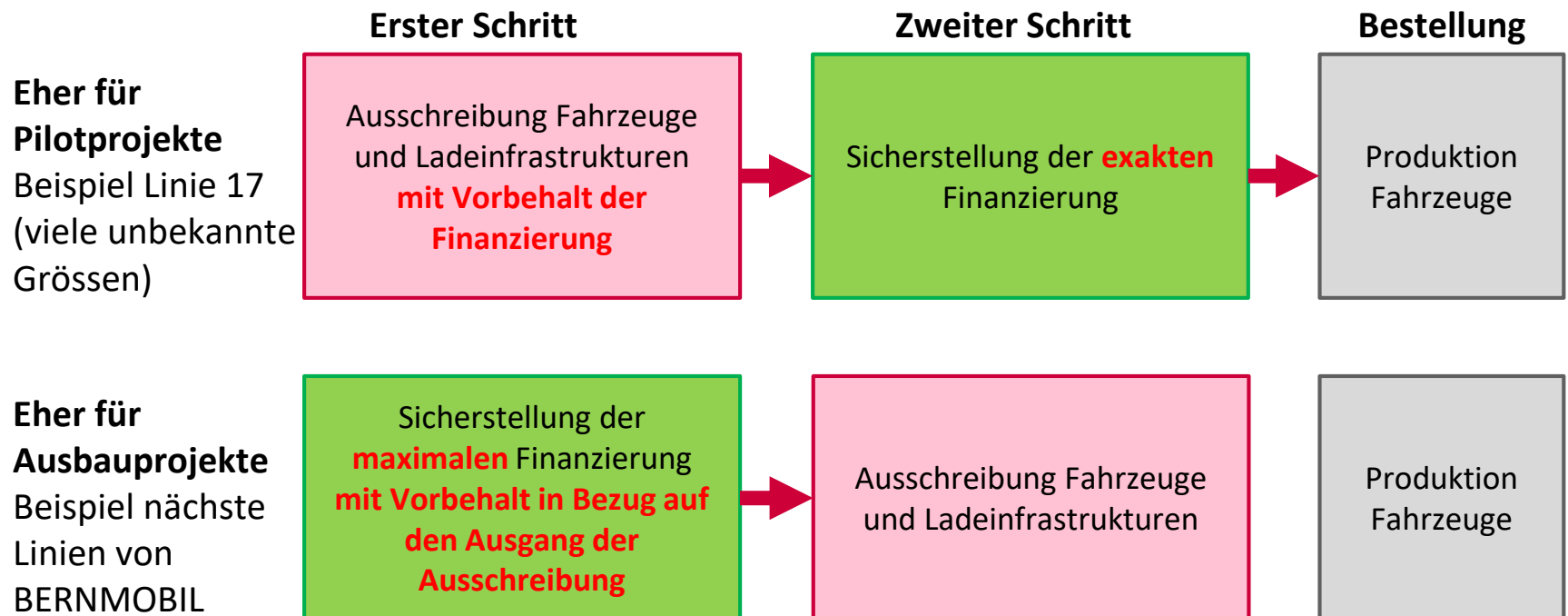
- Zusätzliche Betriebskosten für Verlängerung der Ladezeiten: Ca. 0.05 Mio.
- Energiekosten, Unterhalt und Instandhaltung: Annahme: **Gleich hoch** wie beim Diesel/Hybrid-Fahrzeug

Grund: Zwar gibt es Einsparpotentiale beim Unterhalt von E-Bussen, auf der anderen Seite stehen die Kosten für den erwarteten Batterieersatz. Zudem ist die Entwicklung der Energiepreise für Treibstoffe oder Strom auf 10- 15 Jahre hinaus sehr unsicher.

## B5) Zwei Fragen vor der Ausschreibung

### 1. Zuerst ausschreiben oder zuerst Finanzierung sichern?

Für die Linie 17 wurde eine Ausschreibung mit Vorbehalt des Zustandekommens einer Finanzierung gemacht. Grund: Zu viele technische Elemente waren noch unbekannt. Erst danach fanden die Verhandlungen unter den Finanzierungspartnern statt.



## B5) Zwei Fragen vor der Ausschreibung

### 2. Separate Ausschreibungen oder alles von einem Lieferanten?

#### Lösung Pilot-Linie 17

- Unsicherheit Schnittstelle

Ausschreibung **Fahrzeuge**  
und **Ladeinfrastrukturen**

Schnittstelle = Problem des  
Lieferanten



#### Lösung für weitere Linien

- Unterschiedliche Lebensdauer
- Unabhängig sein

Ausschreibung **Fahrzeuge**



**! Schnittstelle definieren**

Ausschreibung  
**Ladeinfrastrukturen**



## B6) Bau der Ladeinfrastruktur

Allgemein: Zeitlich enger  
Rahmen für Projektierung,  
Bewilligung und Bau

Vor allem: Bestellung Fahrzeuge  
erst nach Vorliegen der  
Baubewilligungen sinnvoll

### Stromversorgung

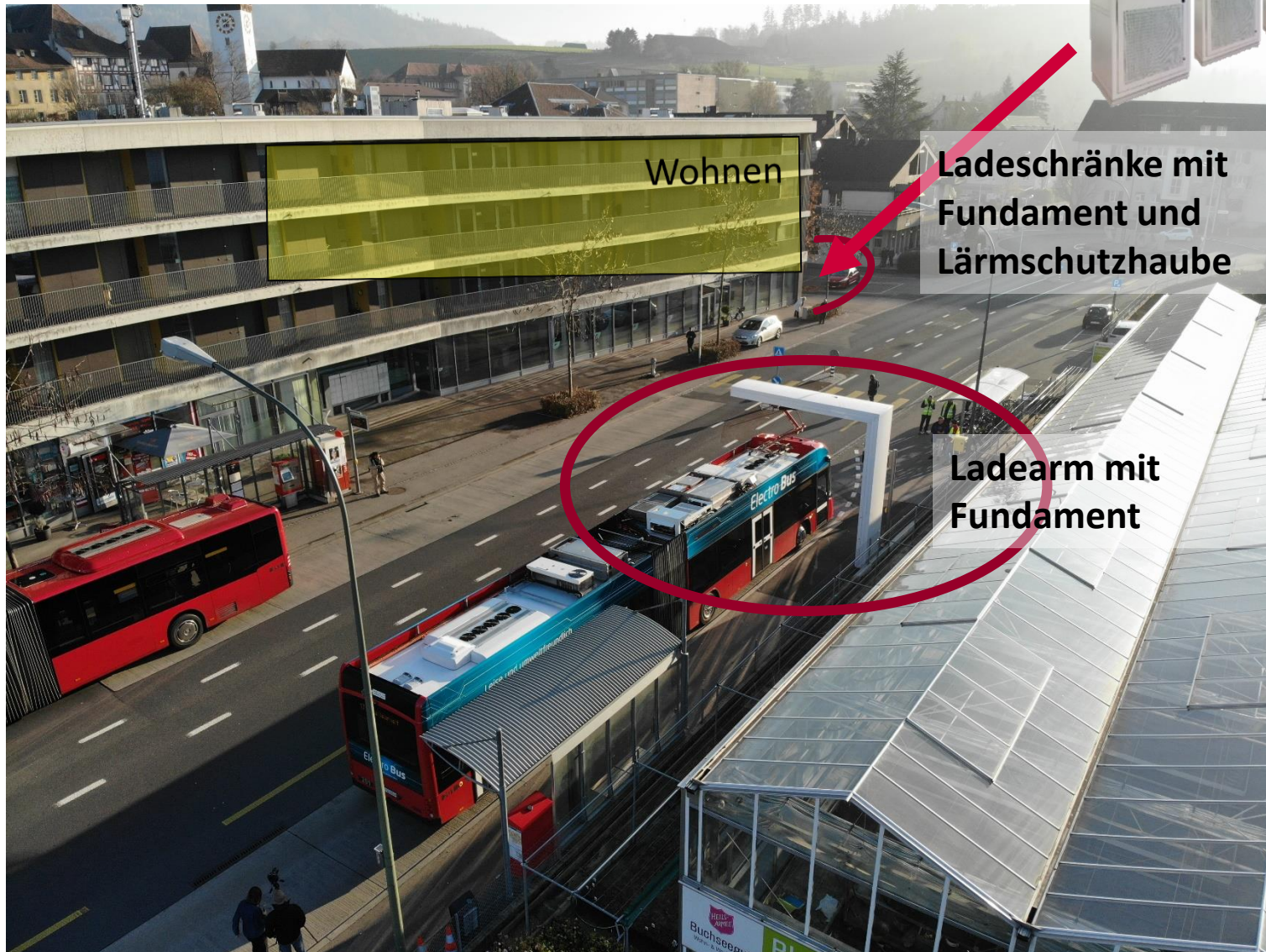
- 3 Ladeschränke à je 150 kW  
Leistung in einem Wohnquartier  
(total 450 kW)
- Maximal erlaubter Lärmpegel ab  
19 Uhr: **35 dB(A)**. Das ist sehr  
leise! -> Schallschutzhaube  
notwendig

Ladearm an Haltestelle

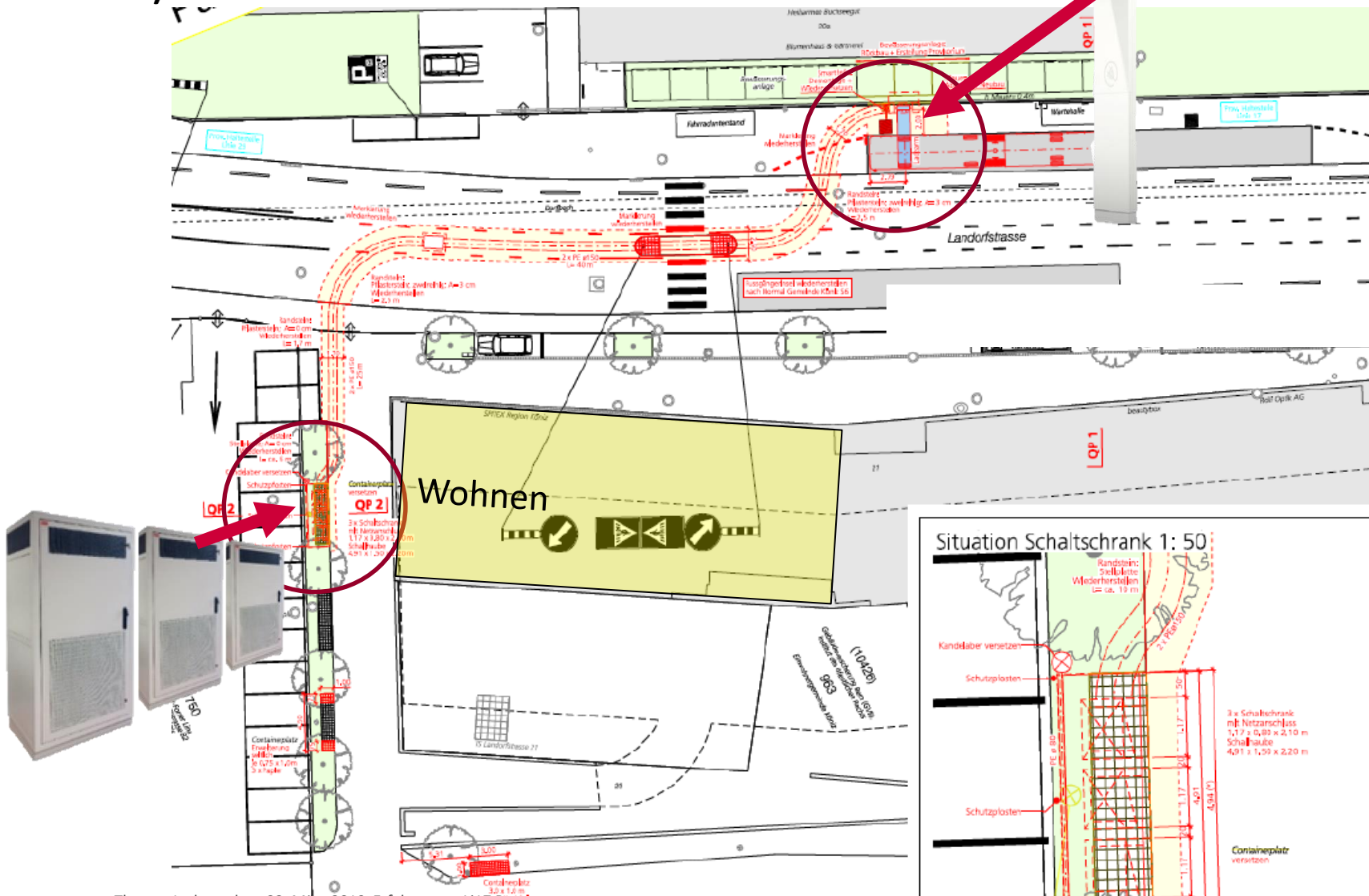
- Höhe: Fast 5 m



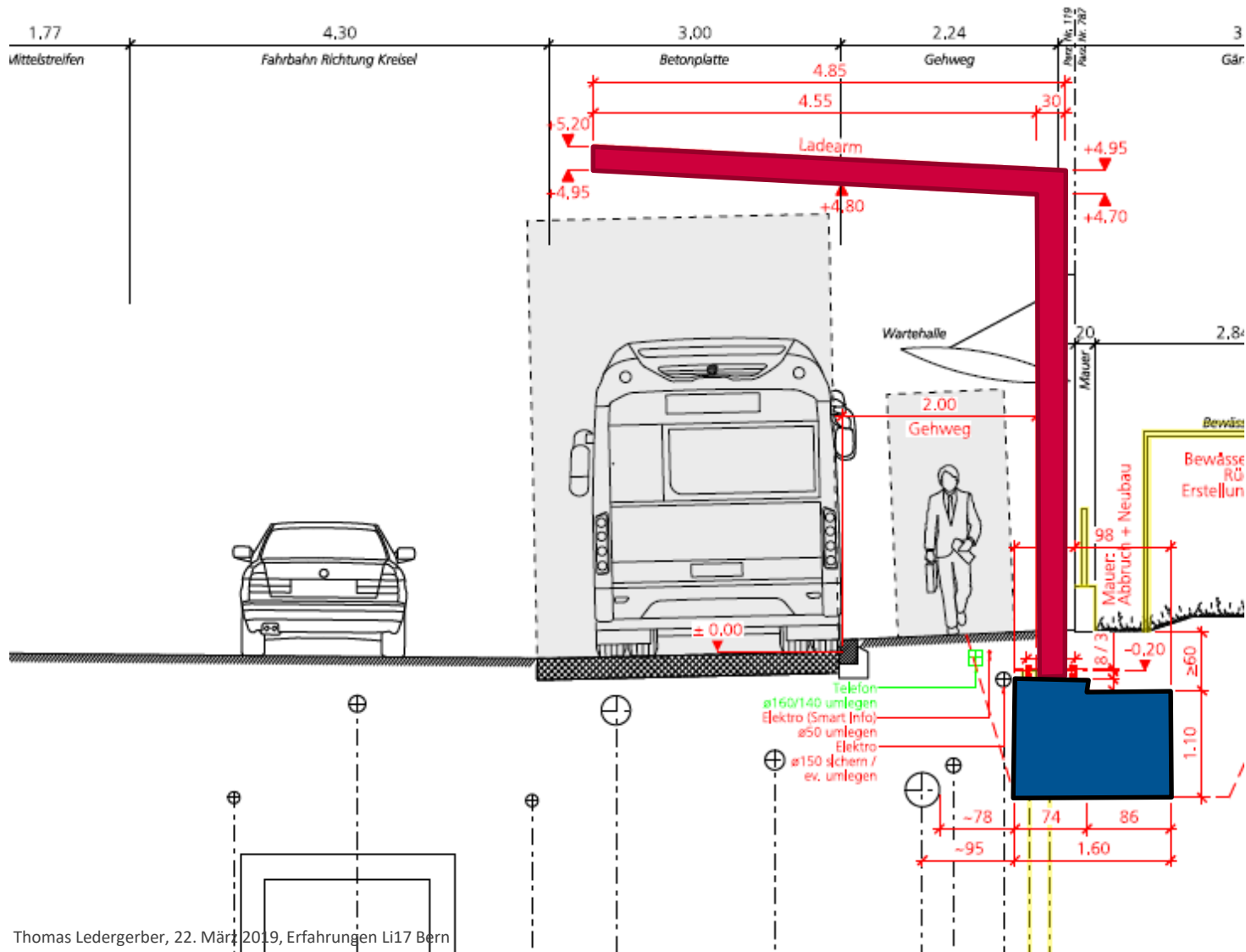
## B6) Bau der Ladeinfrastruktur



## B6) Bau der Ladeinfrastruktur



## B6) Bau der Ladeinfrastruktur





## B6) Bau der Ladeinfrastruktur

Es fehlt: Schallschutzhaube



## B6) Bau der Ladeinfrastruktur



**5 Ladesäulen Garage Eigerplatz  
(1 Säule pro Fahrzeug  
plus Verteilschrank)**

## B7) Finanzierung der Mehrkosten

- Viele Verhandlungen mit verschiedenen Institutionen notwendig
- Konkretes Projekt vorlegen
- Keine Fördermittel von Energiestrategie 2050, myclimate, etc.

Finanzierung	CHF	Bemerkung
Kanton Bern (Besteller)	Ca. 2.0 Mio	
Stadt Bern, BERNMOBIL, Ökofonds ewb, Gemeinde Köniz	Ca. 2.5 Mio	
Betrieb	---	via «normale» Abgeltung durch Besteller (Kanton)

## **B8) Alle Unternehmensbereiche sind betroffen**

### **Bei der Umsetzung berücksichtigen:**

#### Mensch

- Betrieb (Mechaniker, Applikationsmanager, Fahrer, Leitstelle...)
- Neue Denkweise von allen Mitarbeitern, Kommunikation

#### Technik

- Ladeinfrastruktur, Ladestrategie und Energiezufuhr
- Fahrzeuge und Systeme (Bordrechner, Telematik etc.)

#### Organisation

- Prozesse, Zuständigkeiten, Weisungen
- Neue vernetzte Zusammenarbeit
- Verhalten, Kommunikation

## **B8) Alle Unternehmensbereiche sind betroffen**

### **Fahrzeug-Ersatzbeschaffung**

- Nicht mehr nur ein Thema des Bereichs «Technik»
- Lösung BERNMOBIL: Projektleitung bis zur Ausschreibung (Fahrzeuge + Ladeinfrastruktur) in der Planungsabteilung (Netzmanagement), danach Projektleitung für die Umsetzung und die Inbetriebnahme im Bereich «Technik»

### **Es tauchen neue Fragen auf ...**

- Wie weit kann ich noch fahren? Dafür eignet sich eine Km-Angabe im Führerstand besser als die Angabe der Restkapazität in % der Batterie («SOC»).
- Welche Unterschiede bestehen beim Verbrauch zwischen Sommer und Winter?
- Wie schnell müssen Störfälle an der Ladeinfrastruktur behoben werden können?
- Wie reagiert die Leitstelle, wenn die Ladezeiten nicht ausreichen?
- Gibt es veränderte Anforderungen in der Fahrplangestaltung?
- Usw.

## C) Erfahrungen

**Erfolg: Seit 21. Februar 2019 wird die Linie voll mit Elektrobussen gefahren!**

### Bisherige Erkenntnisse

- Fahrplan ist haltbar
- Verfügbare (Netto-)Wendezeit ist entscheidend (Verspätungen!)
- Fahrer: Fahren = problemlos
- Ladevorgang → Schulen und begleiten nötig
- Wichtiger Wissens-Aufbau im Bereich der Elektromobilität im Hinblick auf die Beschaffung weiterer E-Busse



## C) Erfahrungen

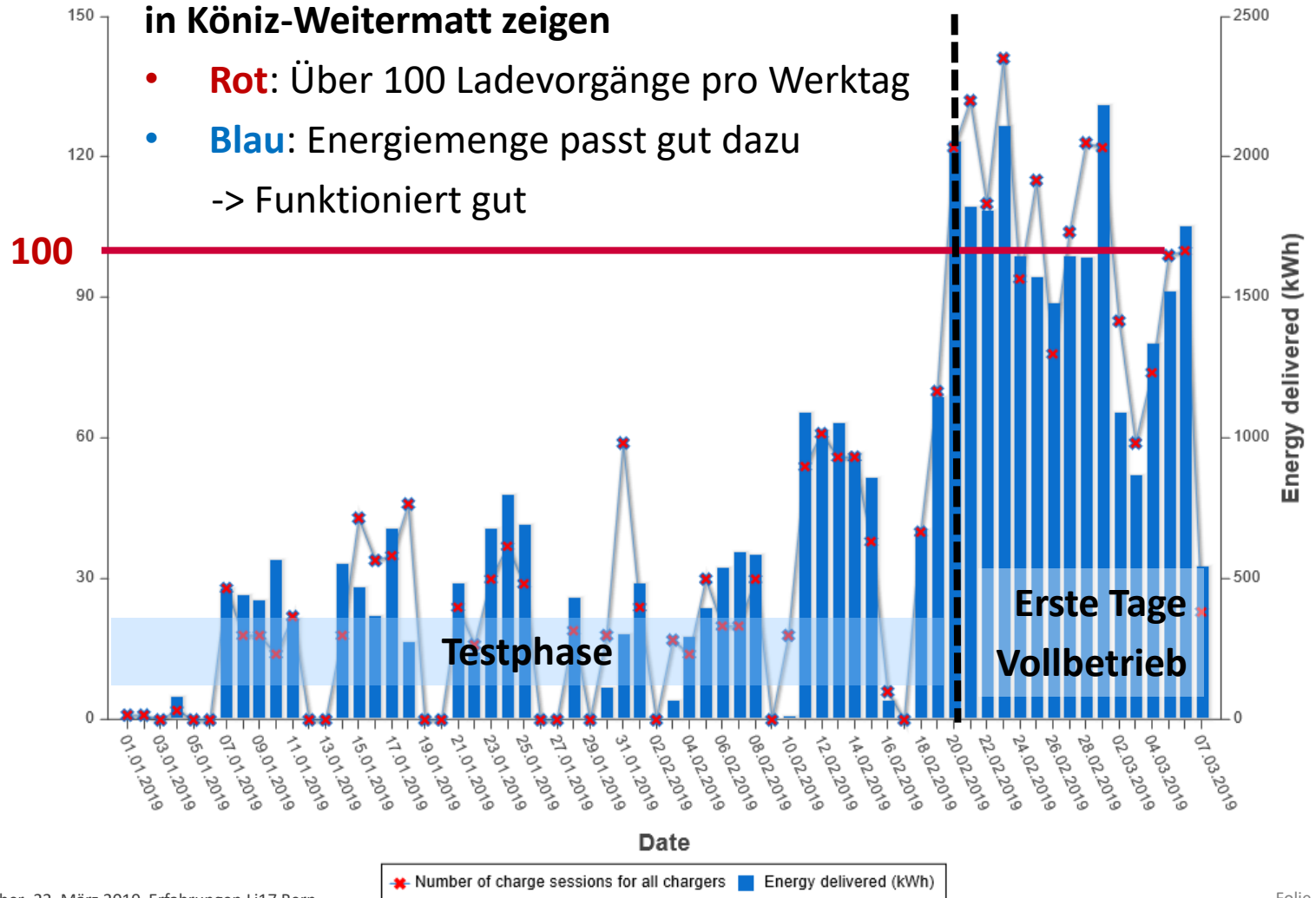
### Zielkonflikt lösen mit Strategie

- Die optimale Antriebstechnologie muss von Linie zu Linie untersucht werden und wird pro Linie verschiedene Konzepte (Lademethode, Batteriegrösse und -chemie, Ladekapazität in kW, usw.) hervorbringen!
  - Bedarf seitens Flottenmanagement nach möglichst einheitlichen Fahrzeugen!
- Elektrifizierungs-Strategie notwendig

## C) Erfahrungen

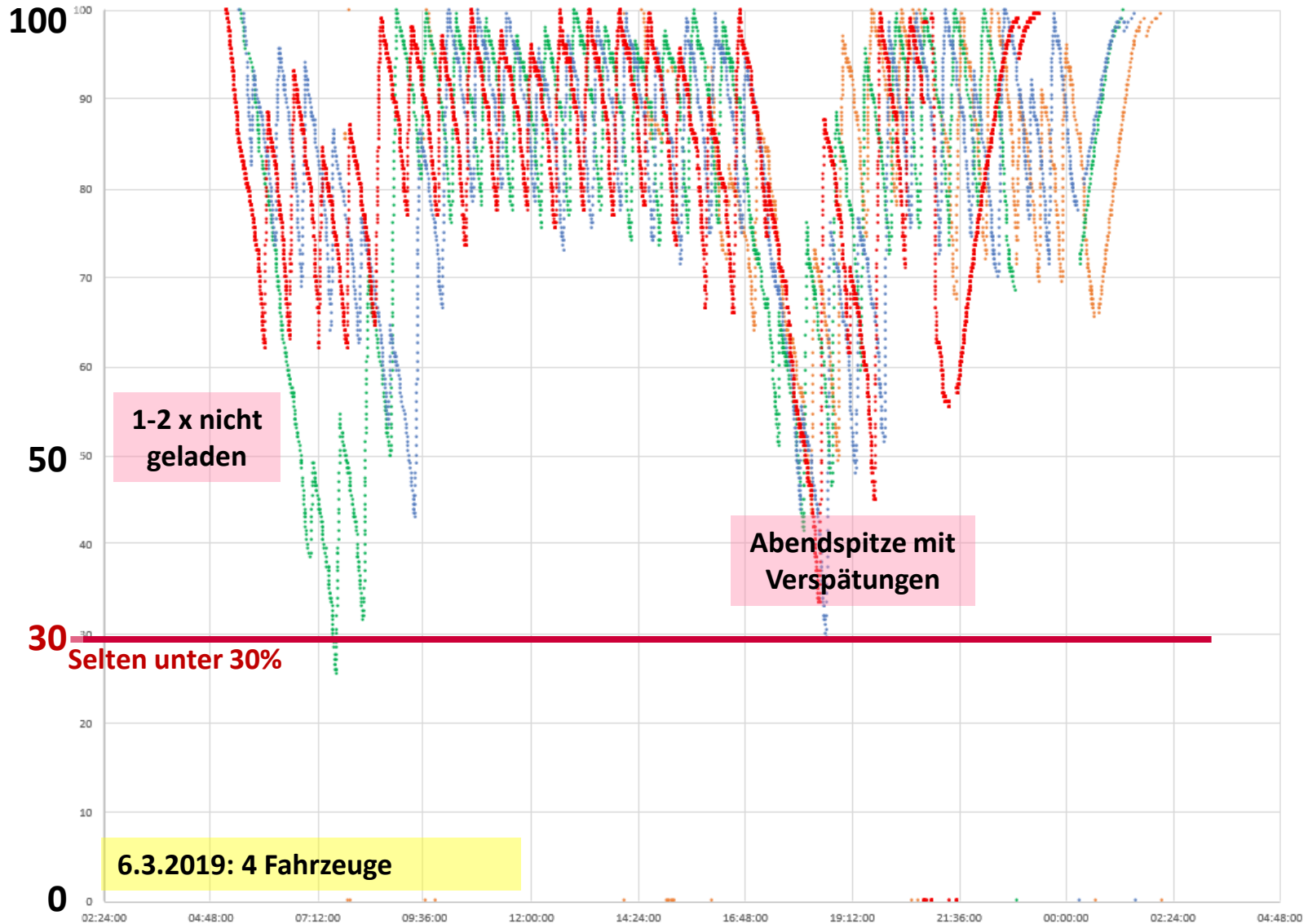
### Messungen der Schnellladestation der ABB in Köniz-Weitermatt zeigen

- **Rot:** Über 100 Ladevorgänge pro Werktag
  - **Blau:** Energiemenge passt gut dazu
- > Funktioniert gut





### C) Erfahrungen: Typischer Verlauf Füllstand Batterie (nur nutzbarer Teil der Batterie)



## C) Erfahrungen

### Energieverbrauch der Fahrzeuge (Gelenkbusse)

- in etwa wie erwartet

Monat	Km	kWh/km
Jan '19	2'854	2.91
Feb '19	11'147	2.28
Mär '19		
Total	14'001	2.41

Köniz Weiermatt

|Linie |Ziel

29 Niederwangen  
17 Bern Bahnhof  
29 Niederwangen

|Abfahrt

5'  
11'  
15:39

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit.  
Besuchen Sie uns!**

*Electro Bus*