



Energiereservestrategien für Batteriebusse mit Gelegenheitsladung

Dr.-Ing. Thoralf Knotz

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Zeunerstraße 38

01069 Dresden

www.ivf.fraunhofer.de

Einleitung

Begriffsbestimmungen

■ Gelegenheitsladung

Nachladung des Elektroenergiespeichers eines Elektrobusses an Endhaltestellen – „Opportunity Charging“

■ Energiereserve

Während des Liniendienstes zu jedem Zeitpunkt mindestens vorhandene nutzbare Energie im Elektroenergiespeicher



Einleitung

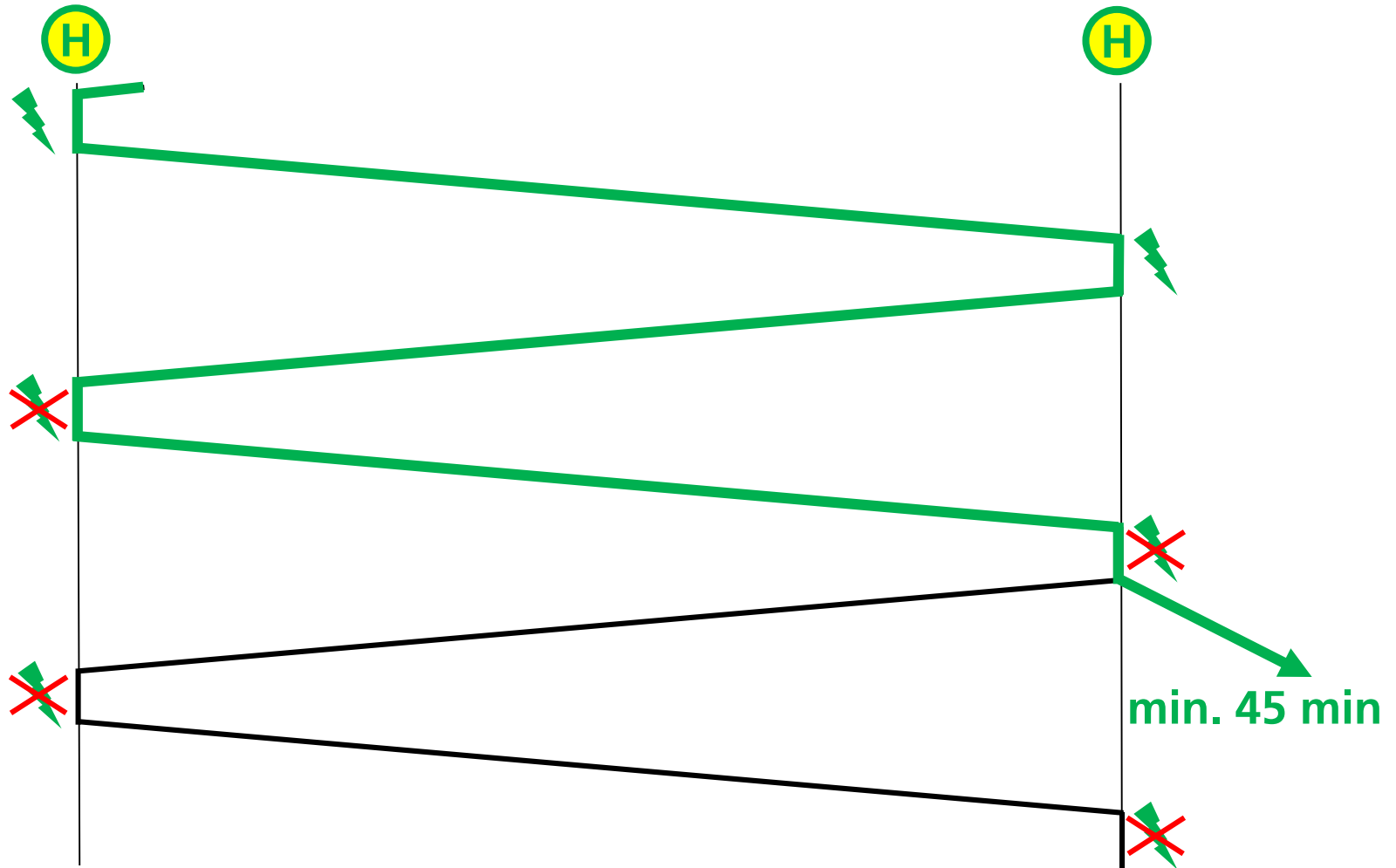
Energiereservestrategie – Wozu?

- sichere Betriebsdurchführung auch bei Verspätungen ➡ kürzere Ladezeiten ➡ weniger nachgeladene Energie
- Absicherung des Fahrplanangebotes bei einem partiellen Ausfall der Nachladung ➡ ggf. Nachladung nur an einer Endhaltestelle
- Absicherung des Fahrplanangebotes bei einem Totalausfall der Nachladung ➡ ausreichend Reaktionszeit



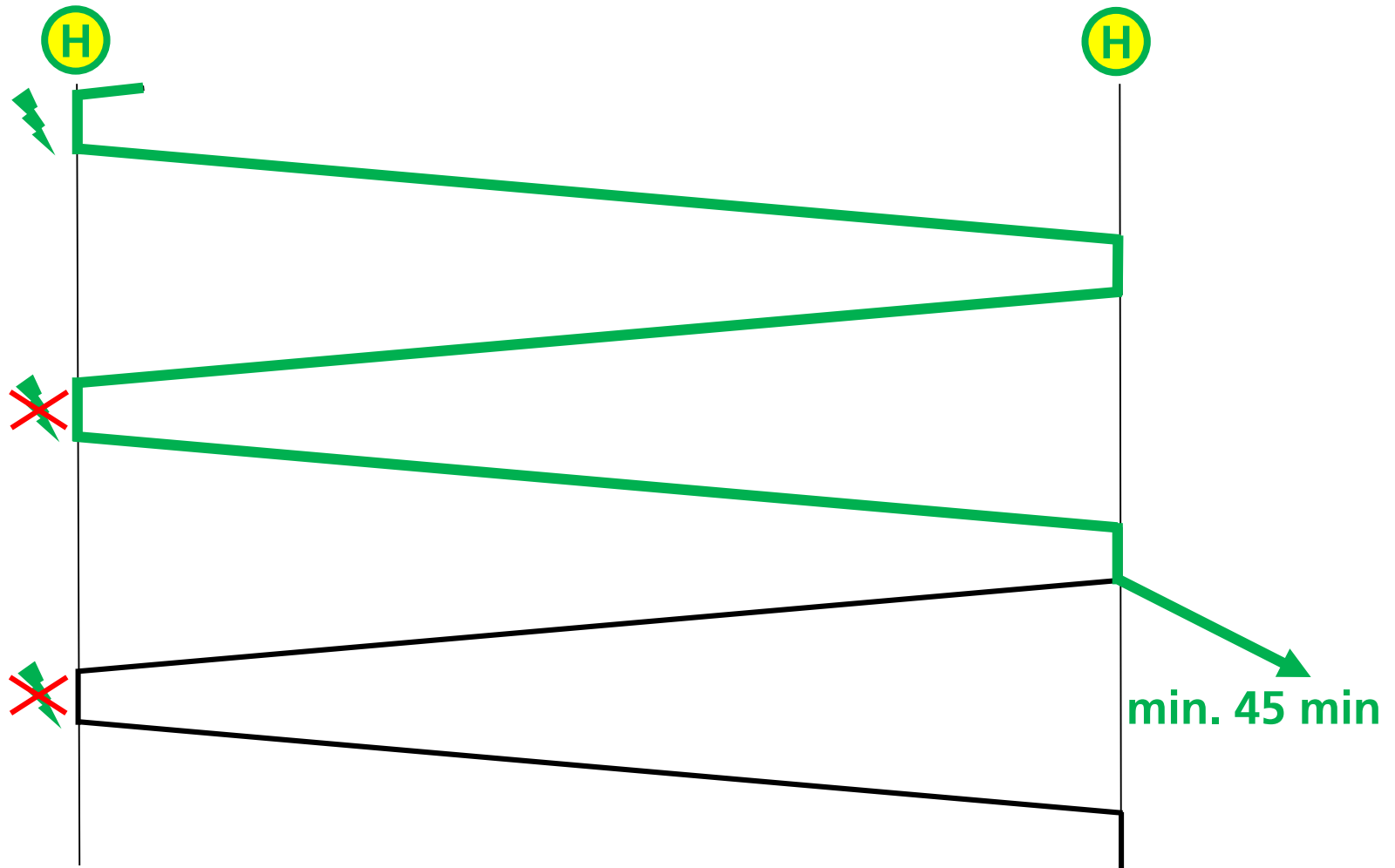
Energiereservestrategien

Mindestreserve



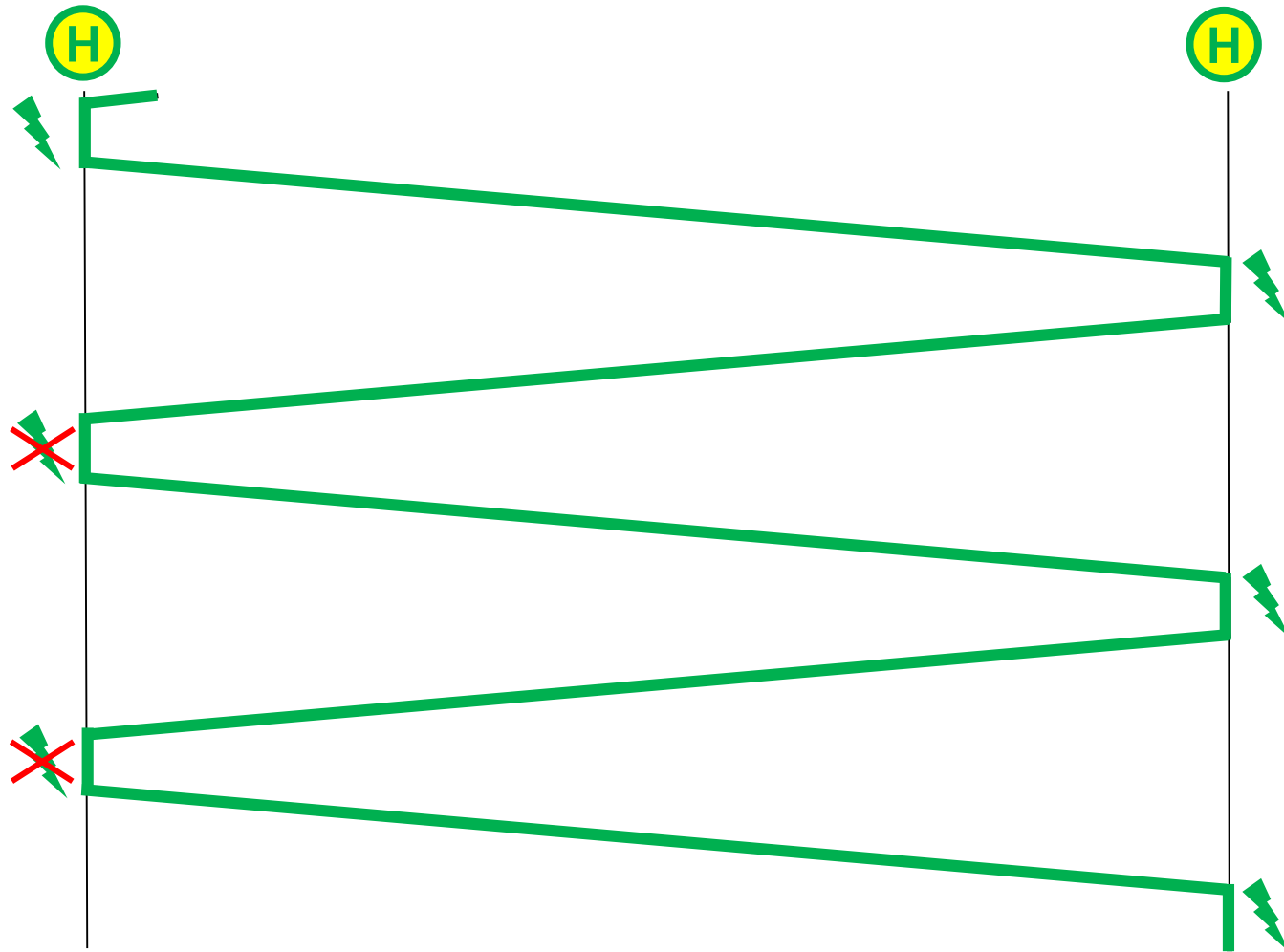
Energiereservestrategien

Mindestreserve



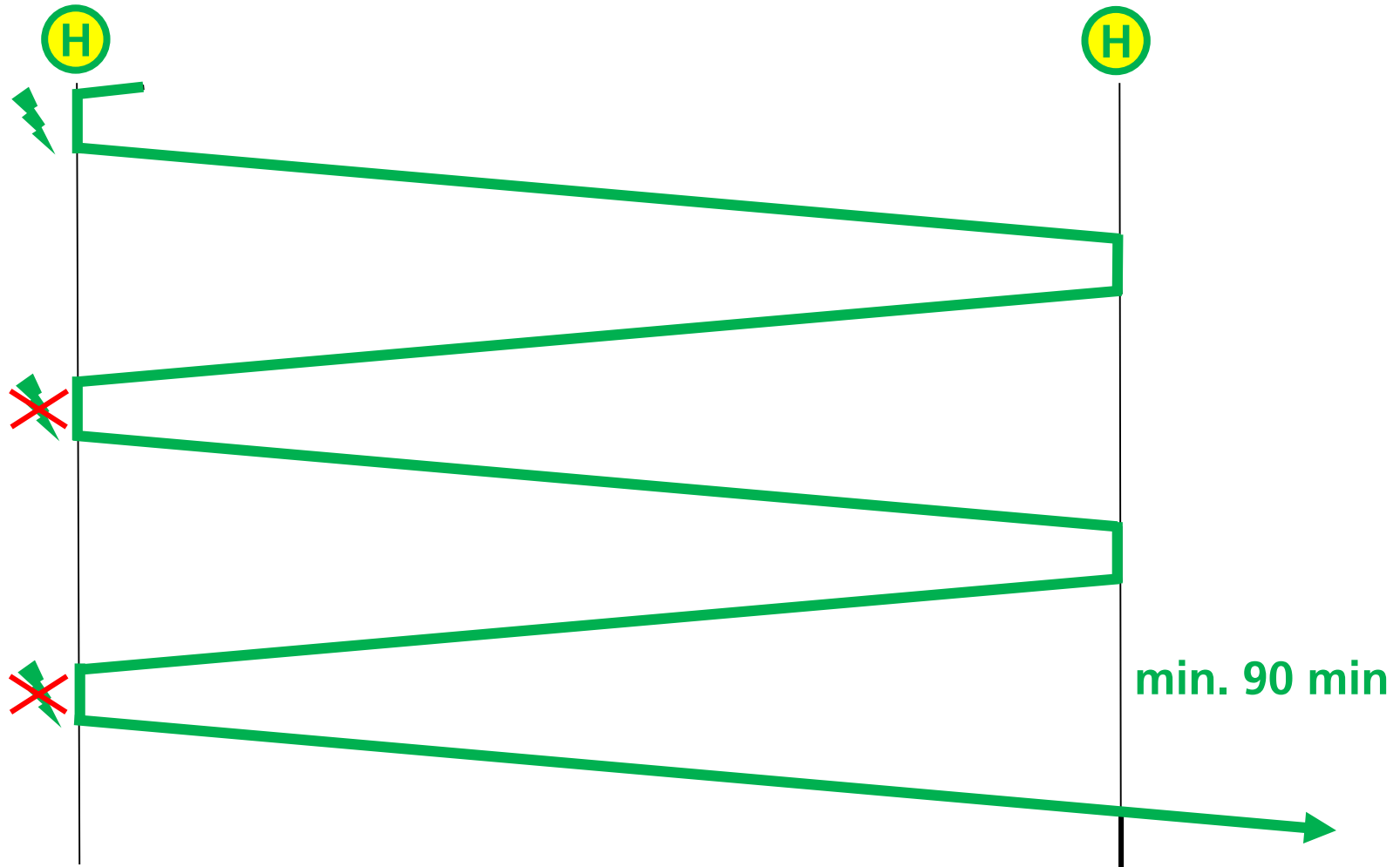
Energiereservestrategien

Maximalreserve – kaum einheitlich definierbar



Energiereservestrategien

Empfehlung – Kompromiss Kosten vs. Betriebssicherheit



Robustheit gegen Verspätungen = f(Energiereserve) – Fallbeispiele

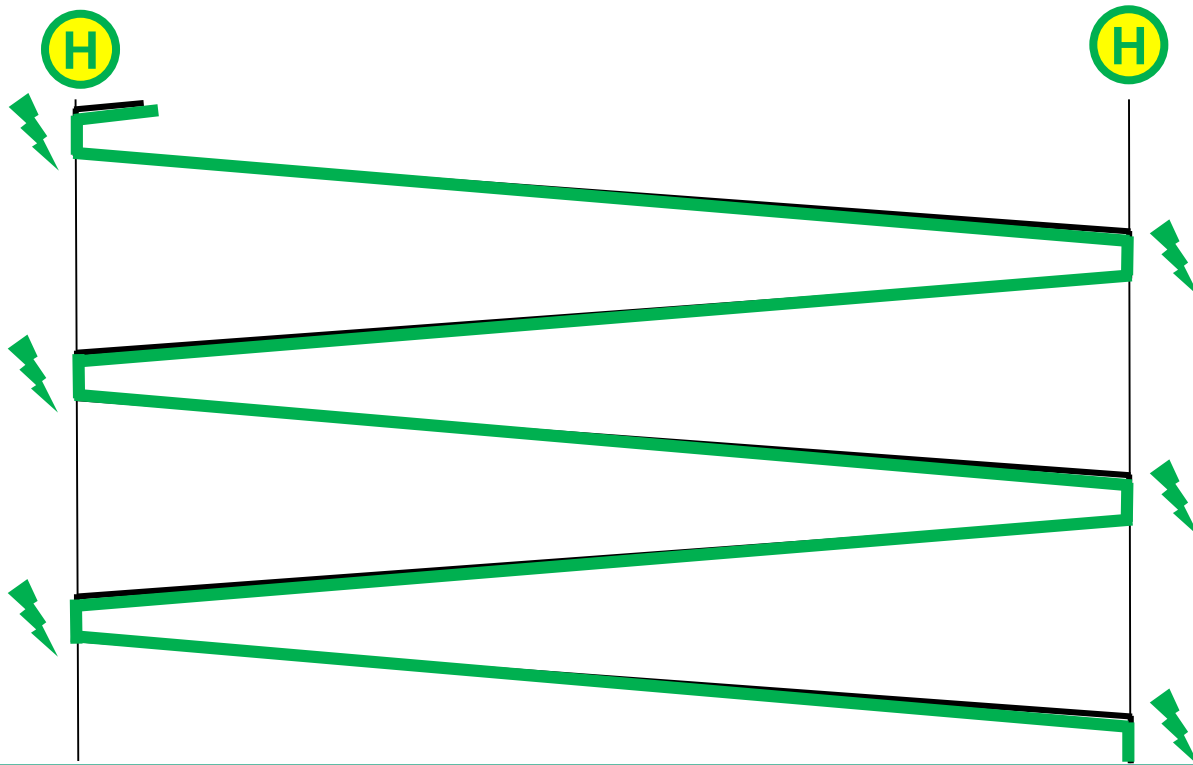
- Datengrundlage
 - 100 reale und bedienbare Umlaufpläne aus Einführungskonzeptionen
 - V-Profil-Messungen
 - Energiebilanzsimulationen
- Energiereservestrategien
 - Minimalstrategie (Mindestreserve)
 - empfohlene Strategie (wie dargestellt)
 - Mittelwert aus beiden Reservestrategien
- Speichergröße = f(max. Ladeleistung)
- jeweils 2 Ladeleistungsbereiche
- zufällige Verspätungen in vier Szenarien



Robustheit gegen Verspätungen

Regelbetrieb für die Bewertung einer Linie

- grundsätzlich mittlere Verspätung = 1 – 3 min (Abzug von Ladezeit)
- keine größeren Verspätungen
- dient zur Bemessung der Energiereserve



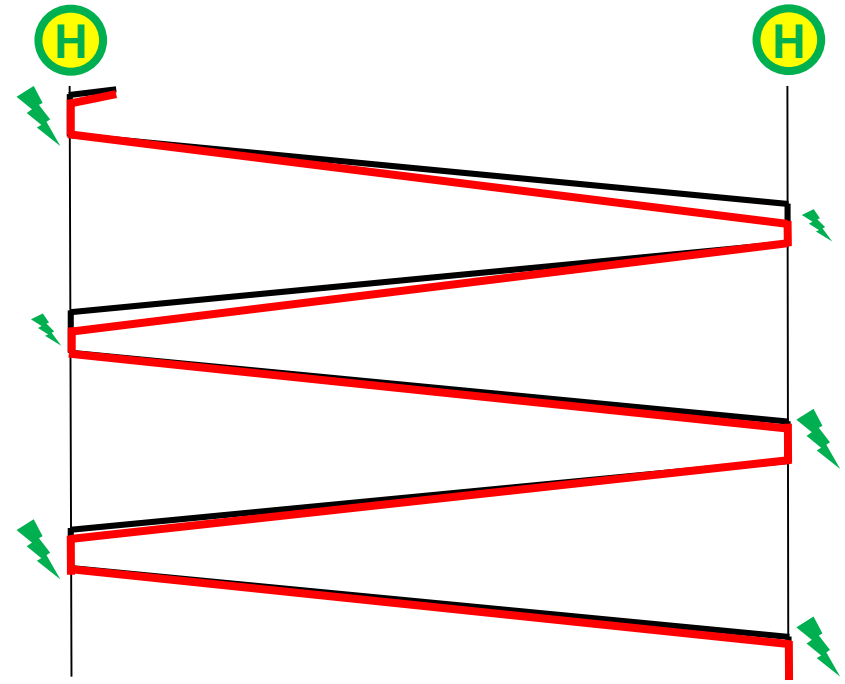
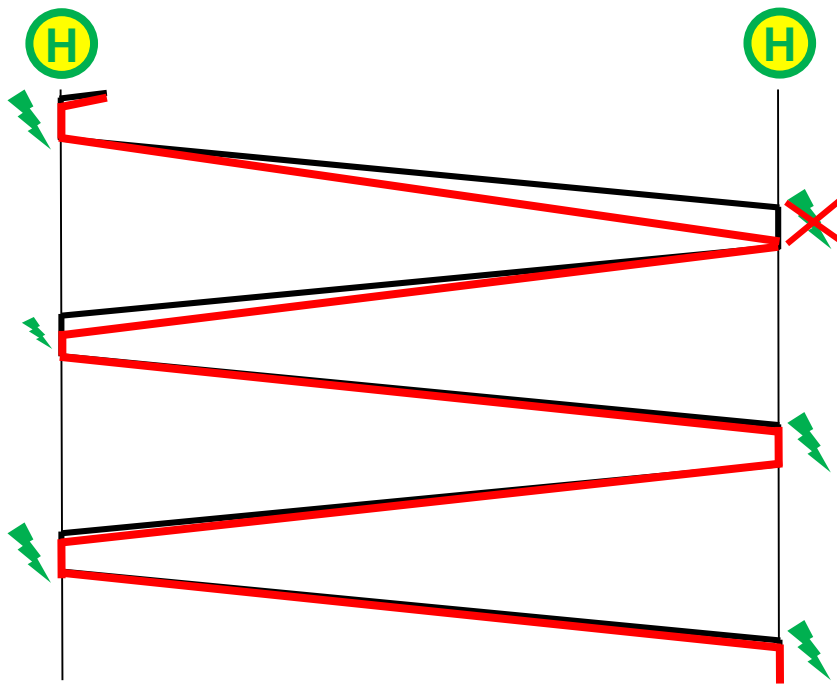
Robustheit gegen Verspätungen

= f(Energiereserve) – aus Praxis abgeleitete Fallbeispiele

■ Annahmen zu Verspätungen

- Regelbetrieb
- **Störungsszenario 1**
keine Ladezeit + 50 % Ladezeit

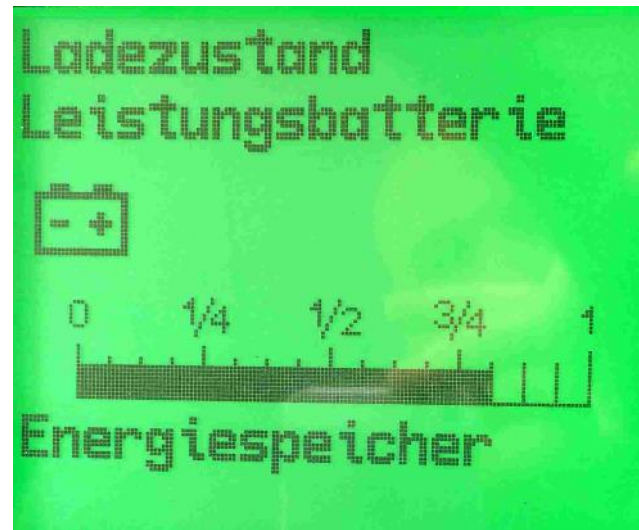
- Störungsszenario 2**
2 x 50 % Ladezeit



Robustheit gegen Verspätungen

Zu erfüllende Bedingungen

- Mindestbedingung = selbständige Rückkehr in Busbetriebshof zu jedem Zeitpunkt möglich
- Mindestreserve zu jedem Zeitpunkt gegeben



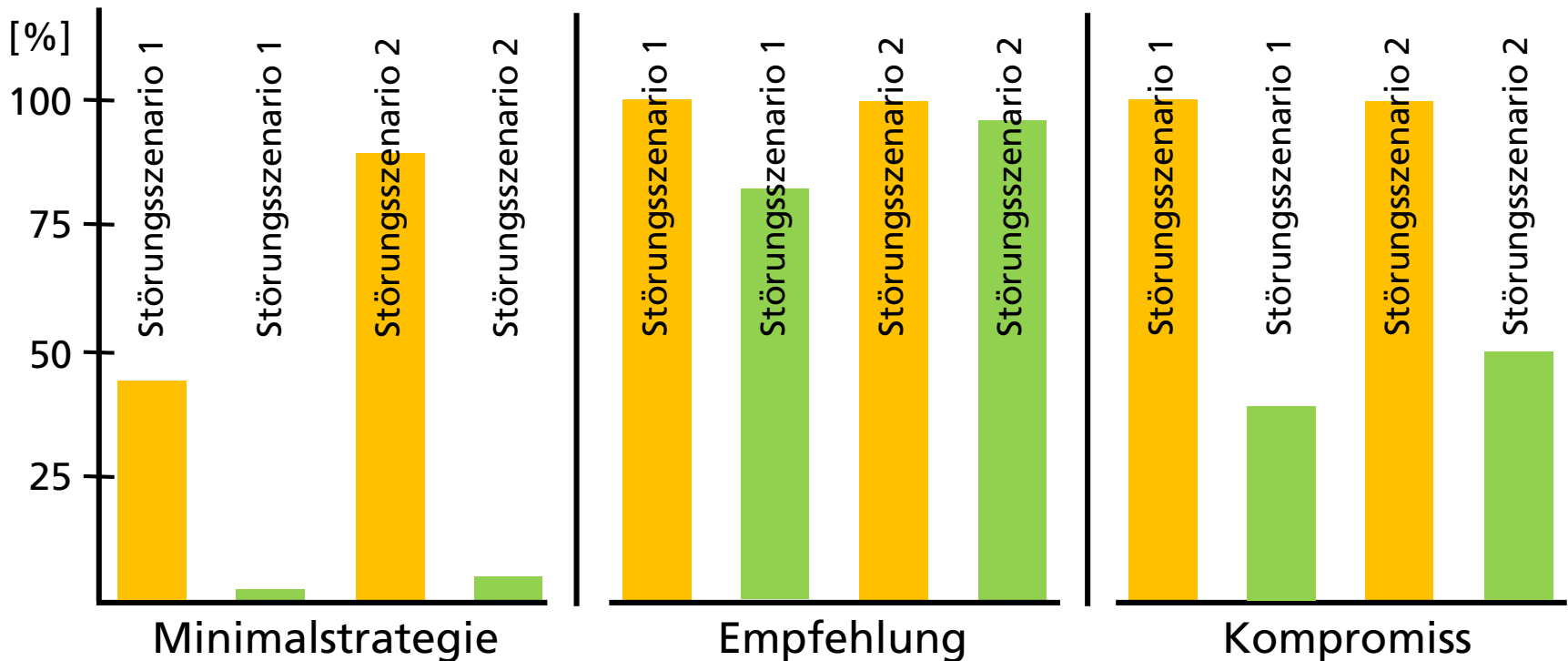
Robustheit gegen Verspätungen

Ergebnisse – Gelenkbuslinien – $P_{Lmax} = 250 \text{ kW}$

■ Anteil von Umlaufplänen mit Erfüllung von Bedingungen

■ Rückkehr zum Busbetriebshof jederzeit möglich

■ Mindestreserve zu jedem Zeitpunkt gegeben



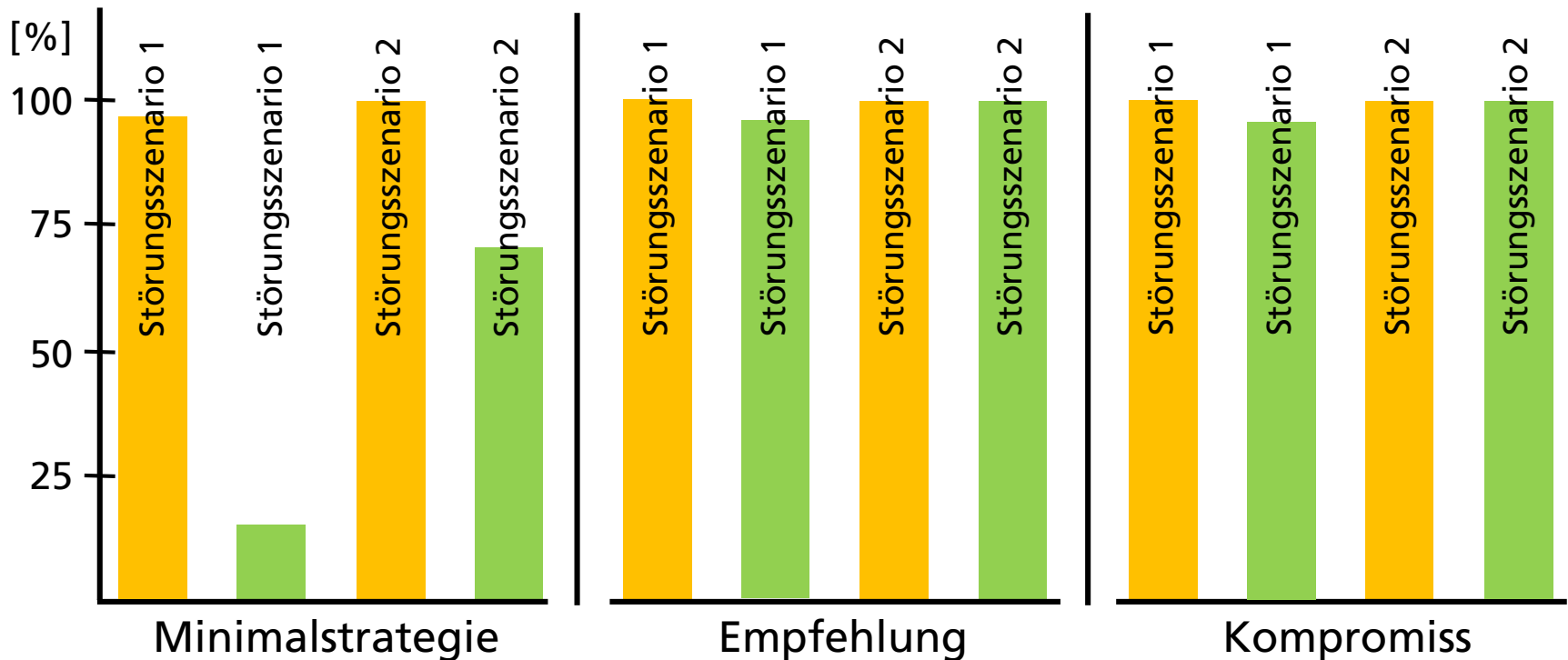
Robustheit gegen Verspätungen

Ergebnisse – Gelenkbuslinien – $P_{Lmax} = 400 \text{ kW}$

■ Anteil von Umlaufplänen mit Erfüllung von Bedingungen

■ Rückkehr zum Busbetriebshof jederzeit möglich

■ Mindestreserve zu jedem Zeitpunkt gegeben



Fazit

Betriebssicherheit vs. (Kosten)Optimierung

- Energiereservestrategie abhängig von
 - Linie bzw. Umlaufpläne
 - gewünschter Reserve bei Ausfall von Nachladung
- kleine Energiespeicher / geringe Energiereserven
 - (geringere Fahrzeugkosten, bessere Integrierbarkeit)
 - hohe Anfälligkeit gegen Betriebsstörungen
 - geringe Reserven bei Ausfall von Ladetechnik
- wenn kleine Speicher dann hohe Ladeleistung
- eher große Speicher als hohe Ladeleistung
- Einbindung von Störungsszenarien in Optimierungsrechnungen
- **Messungen und Verspätungsauswertungen als Grundlage für Bedienbarkeit einer Linie**

FORSCHUNG.bewegt



DRESDEN

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Thoralf Knote

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Zeunerstraße 38, 01069 Dresden

www.ivi.fraunhofer.de

Tel.: +49/351/4640628 E-Mail: thoralf.knote@ivi.fraunhofer.de