



Auswirkungen elektrischer Heizungen auf die Einsatzmöglichkeiten von Batteriebussen

Dr.-Ing. Thoralf Knotz

Fraunhofer-Institut für
Verkehrs- und Infrastruktursysteme

Zeunerstraße 38

01069 Dresden

www.ivi.fraunhofer.de

Bremen, 05.12.2017

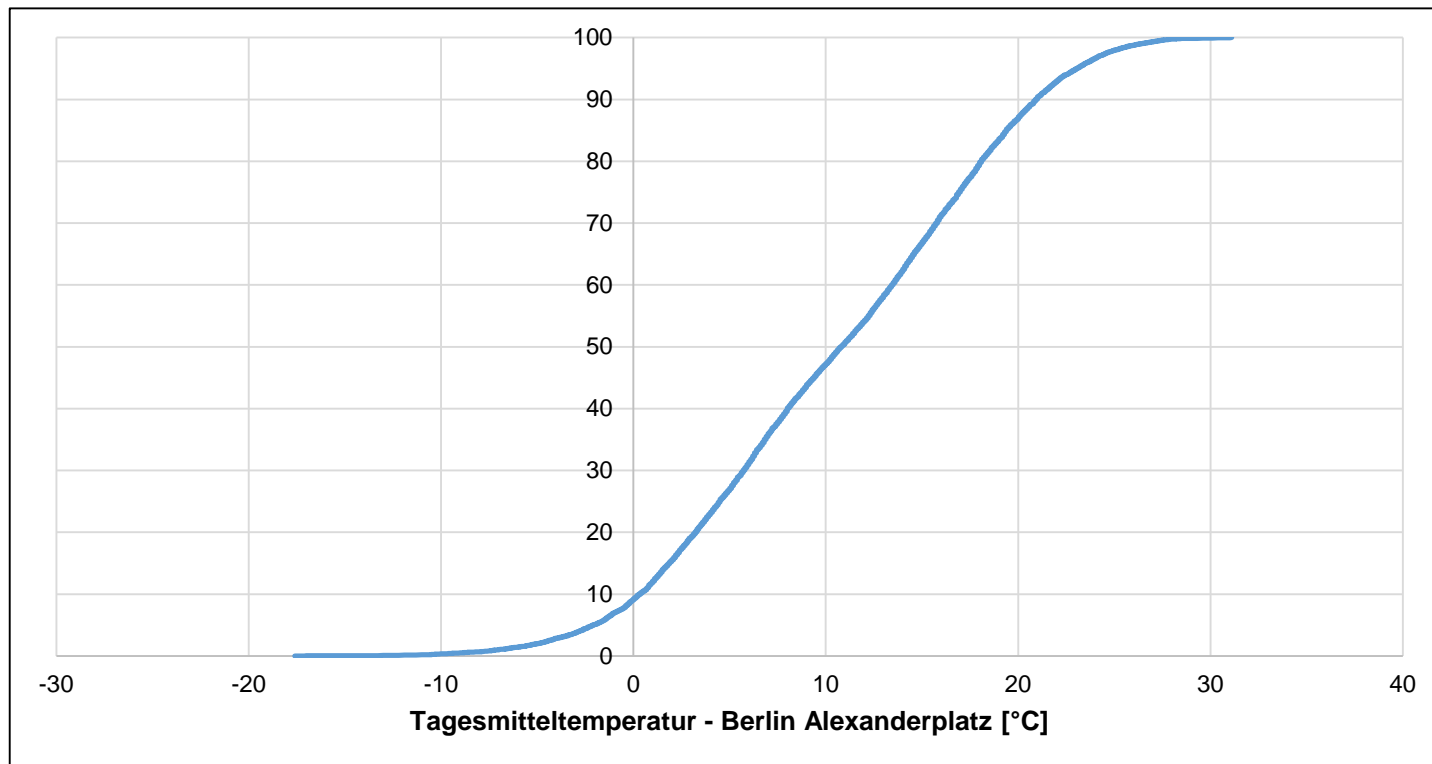
Randbedingungen

Temperaturverteilung in deutschen Städten

■ Summenkurve aller Tagesmittelwerte – Bsp. Berlin Alexanderplatz

➤ 1975 - 2011

➤ 1 % (4 Tage pro Jahr) = -7°C / 2 % (8 Tage pro Jahr) = -5°C



Ausgangslage

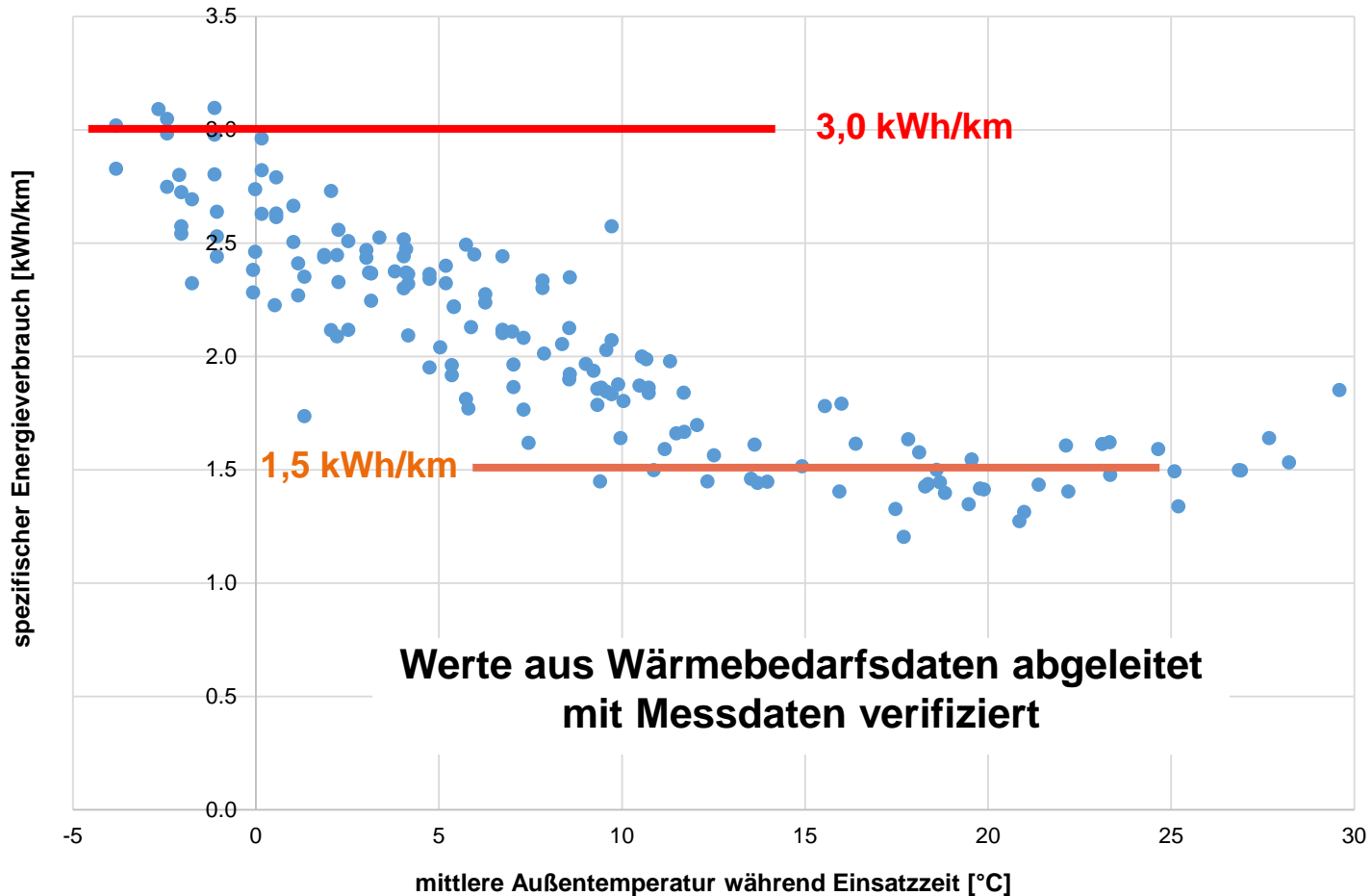
Stand der Technik

- Reichweite von Batteriebusen
 - > 200 km bereits heute möglich, aber
 - Brennstoffheizung
 - Neuzustand der Batterien
 - abhängig vom Einsatzprofil

- vollelektrische Heizsysteme (Stand der Technik)
 - Reichweite < 200 km

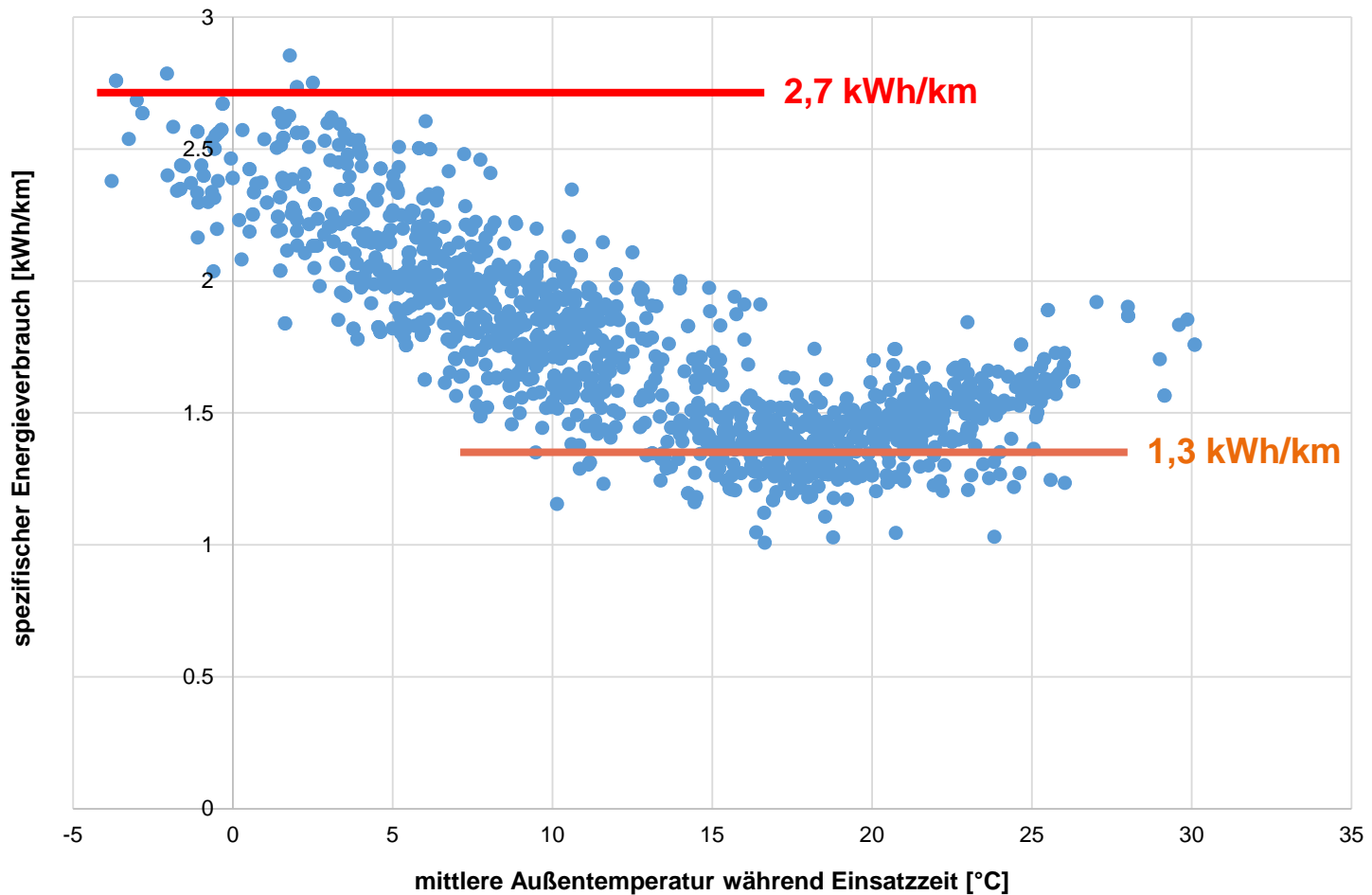
Messdaten

Gelenkbus – Linieneinsatz – E-Heizung (COP > 1)



Messdaten

Solobus – Linieneinsatz – E-Heizung (COP ≈ 1)



Auswirkungen auf Reichweite

Eine kurze Zettel-und-Stift-Rechnung

- Reichweite = 200 km
 - bei 1,3 kWh/km -> 260 kWh nutzbarer Energieinhalt

- gleicher nutzbarer Energieinhalt
 - bei 2,7 kWh/km -> 96 km Reichweite

- hocheffizientes Heizungssystem (COP = 2)
 - bei 2,0 kWh/km -> 130 km Reichweite

Auswirkungen auf Einsatzmöglichkeiten

Datengrundlage

- > 4.000 Umlaufpläne
 - Solo- und Gelenkbusse
 - Deutschland und Schweiz
 - hauptsächlich Groß- und Mittelstädte
 - gewichtete Hochrechnung auf Deutschland
- Daten, u. a.:
 - Fahrleistung (km) pro Fahrt und pro Umlaufplan
 - Wendezeiten
 - Einsatzzeiten
- Umlaufpläne sollen nicht (minimal) geändert werden

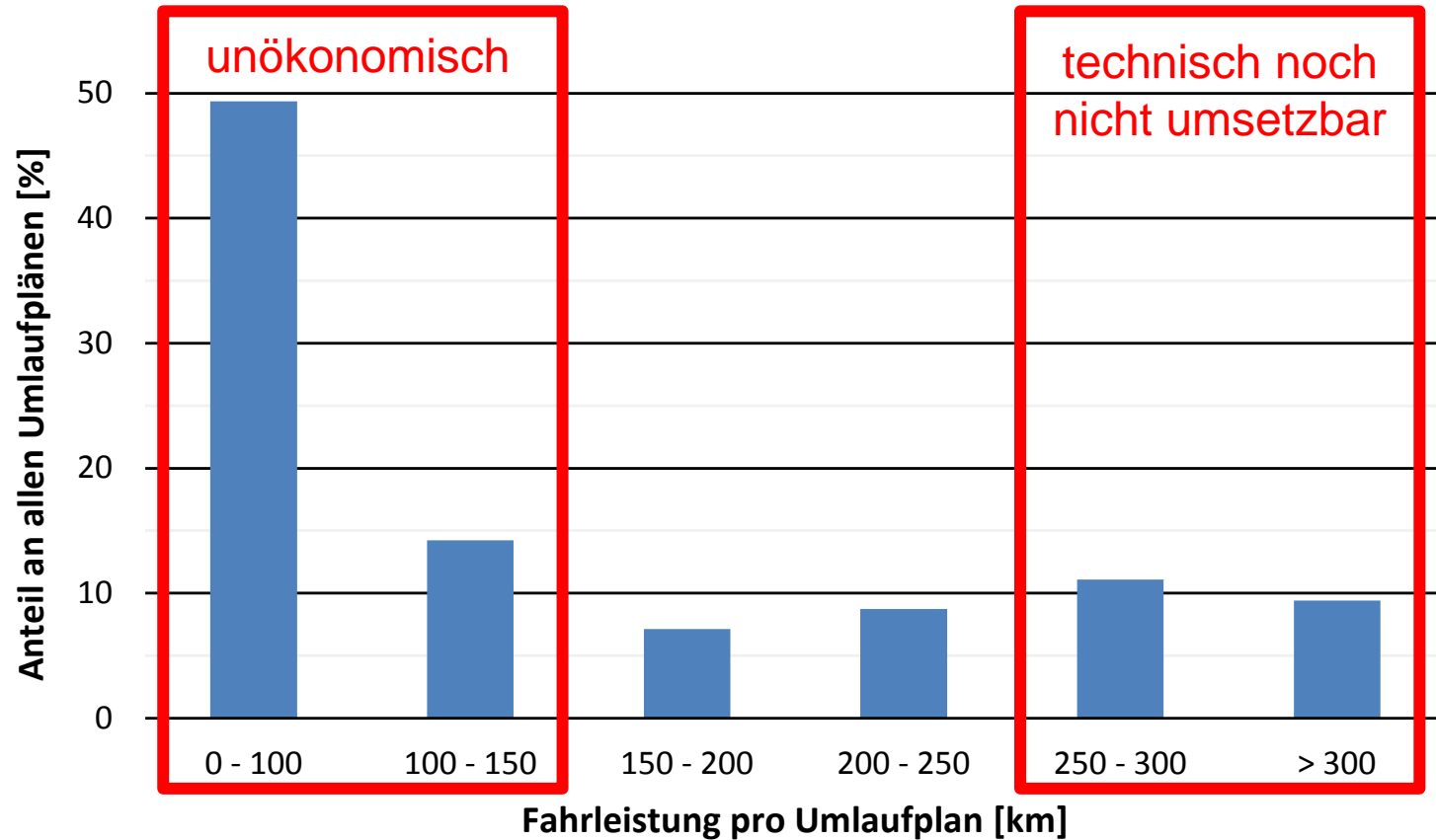
Auswirkungen auf Einsatzmöglichkeiten Fahrleistungen – Solobusse



Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

■ Verteilung der Umlaufpläne auf Fahrleistungsklassen



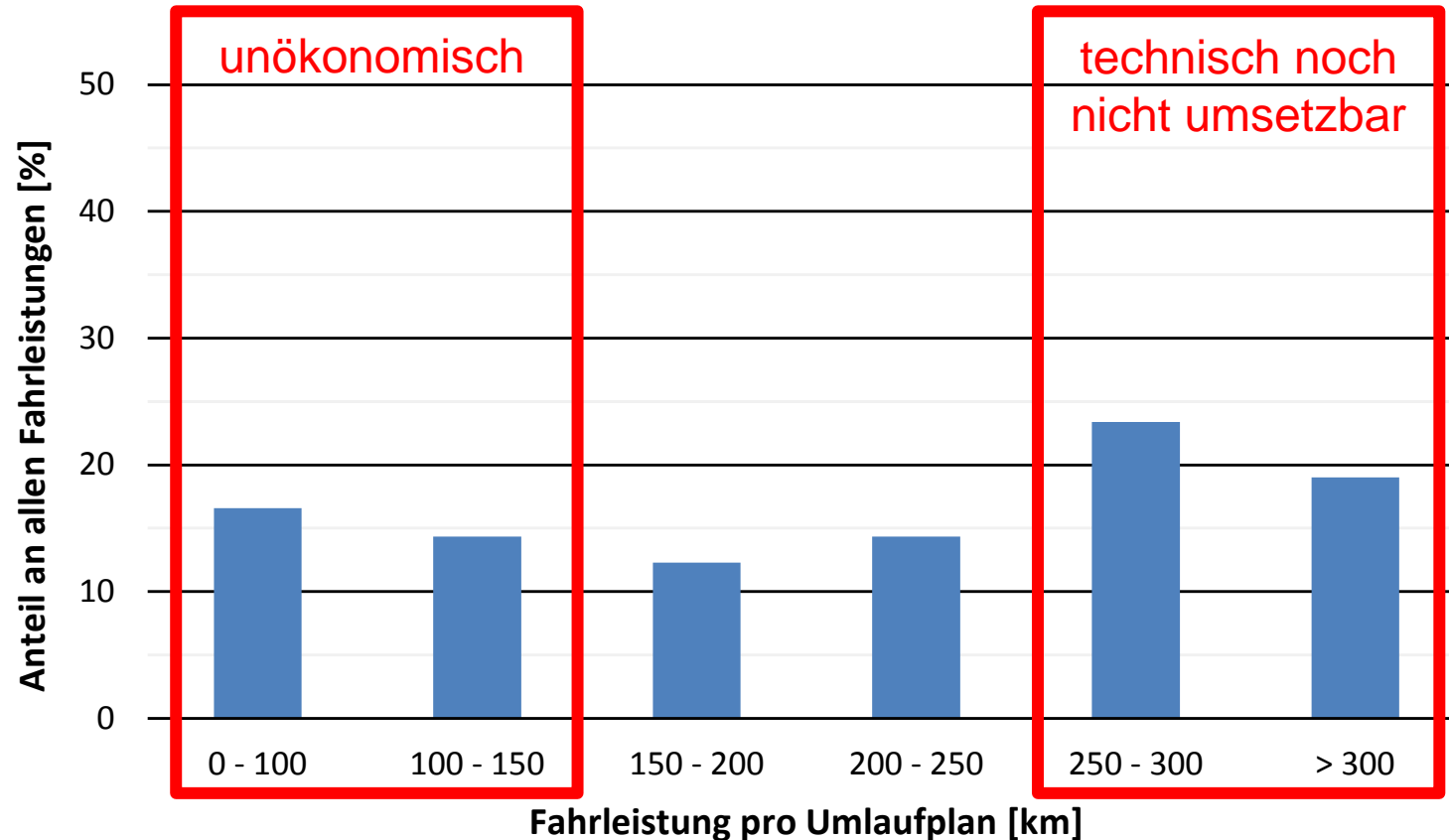
Auswirkungen auf Einsatzmöglichkeiten Fahrleistungen – Solobusse



Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

■ Verteilung der Fahrleistungen auf Fahrleistungsklassen



Zwischenfazit

- eingeschränkter Markt für Voll-lader, wenn
 - Reichweite < 200 (250) km
- elektrische Heizung (Stand der Technik) schränkt Markt weiter ein
- innovative Heizsysteme als Teil der Lösung hin zu
 - vollelektrischen Batteriebusen
 - mit großem Marktpotenzial

Gelegenheitsladung

Nachladung im laufenden Betrieb

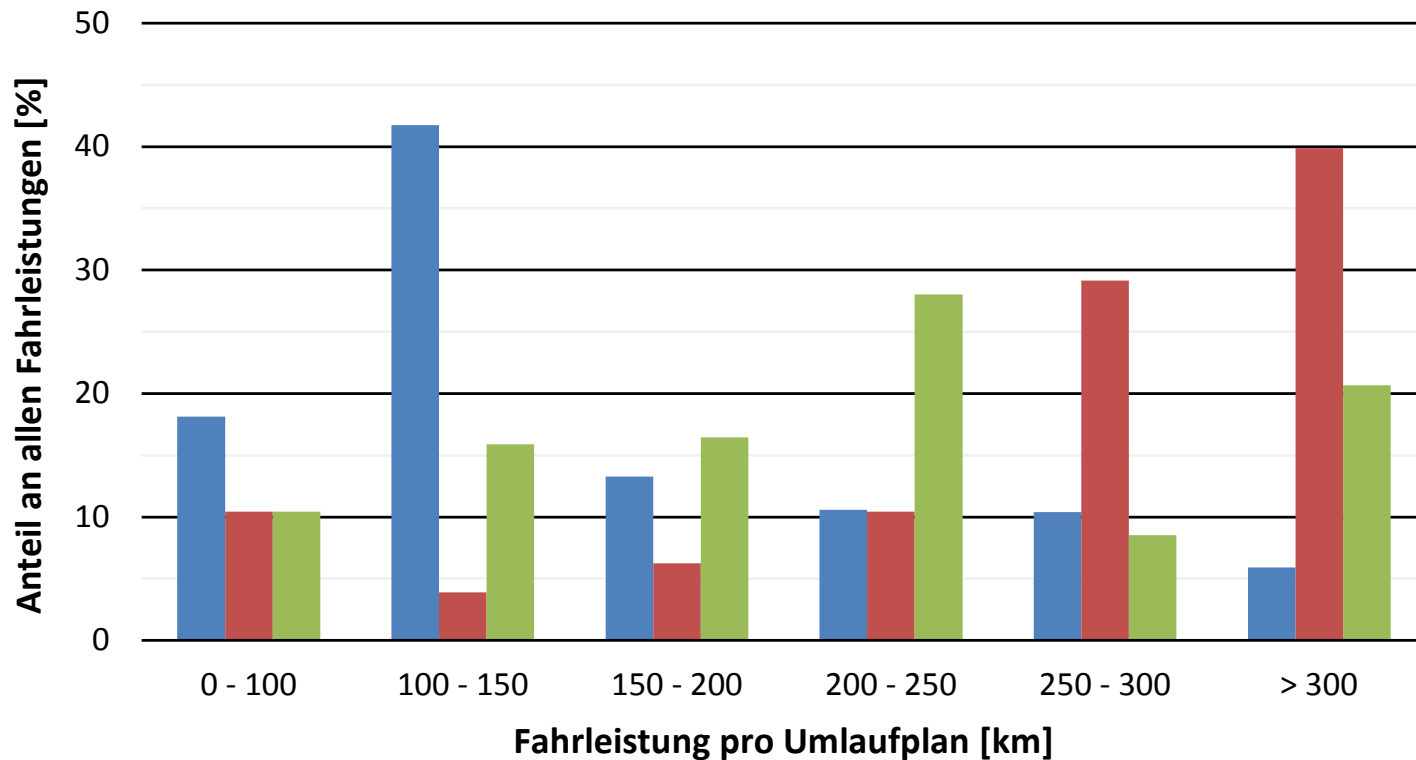


Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

■ Umlaufplangestaltung differiert

➤ drei Beispiele



Vorgehensweise

Technische Bewertung = Energiebilanzierungen

- Energiebilanzrechnungen: Umlaufplan geeignet, wenn zu jedem Zeitpunkt gilt

$$E_{ES} + \sum E_{NL} \geq \sum E_{TR} + \sum E_{NV} + E_{RE}$$

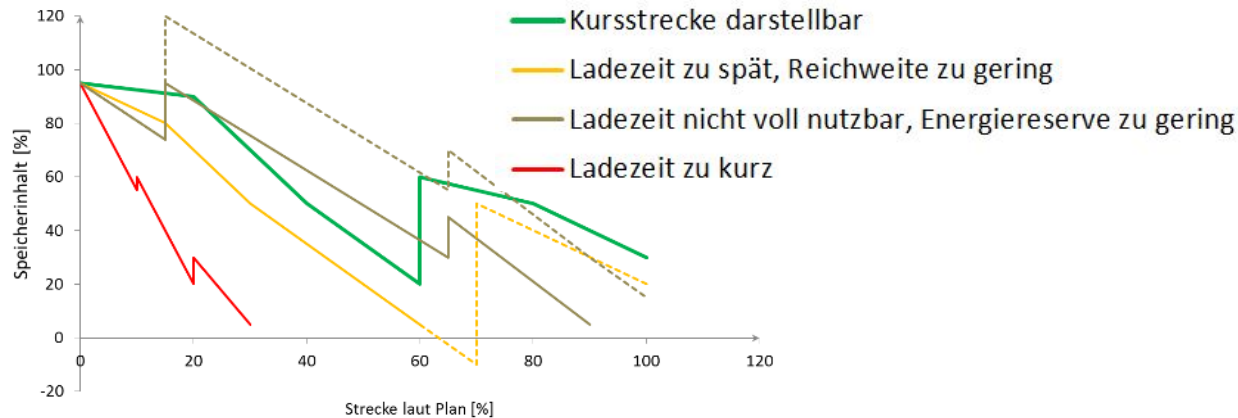
E_{ES} nutzbarer Energieinhalt im Elektroenergiespeicher [kWh]

E_{NL} bis zum betrachteten Zeitpunkt im Betrieb nachladbare Energie [kWh]

E_{TR} bis zum betrachteten Zeitpunkt durch die Traktion verbrauchte Energie [kWh]

E_{NV} bis zum betrachteten Zeitpunkt durch Nebenverbraucher verbrauchte Energie [kWh]

E_{RE} nicht zu unterschreitende Energiereserve [kWh]



Bewertung von Gelegenheitsladern

Datengrundlage und Annahmen

- 258 Umlaufpläne
 - Solo- und Gelenkbusse
 - Deutschland und Schweiz
 - hauptsächlich Groß- und Mittelstädte

- Annahmen zu
 - nutzbarem Speicherinhalt
 - Ladeleistung
 - Verspätungen (einheitlich drei Minuten)

Bewertung von Gelegenheitsladern

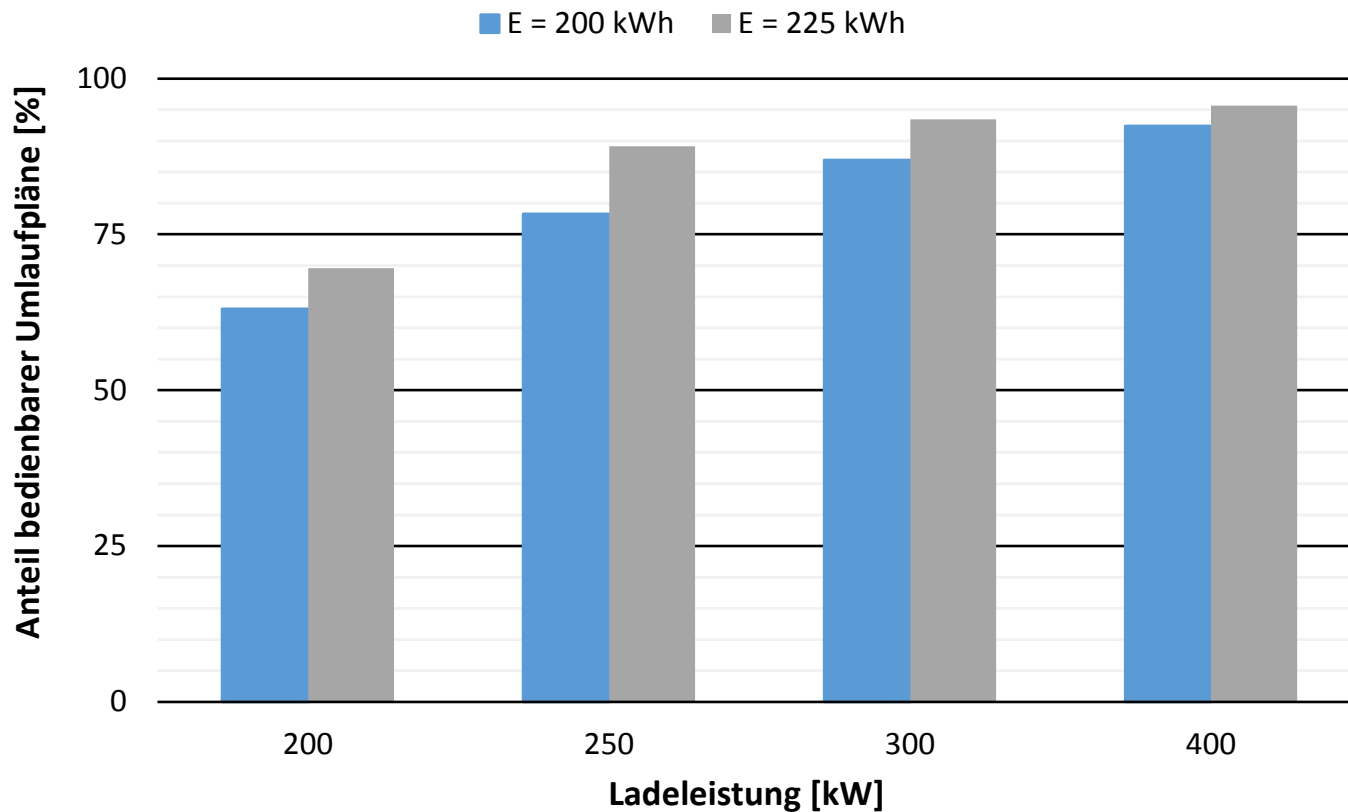
Ergebnisse – Querschnitt



Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

■ Solobusse – Brennstoffheizung



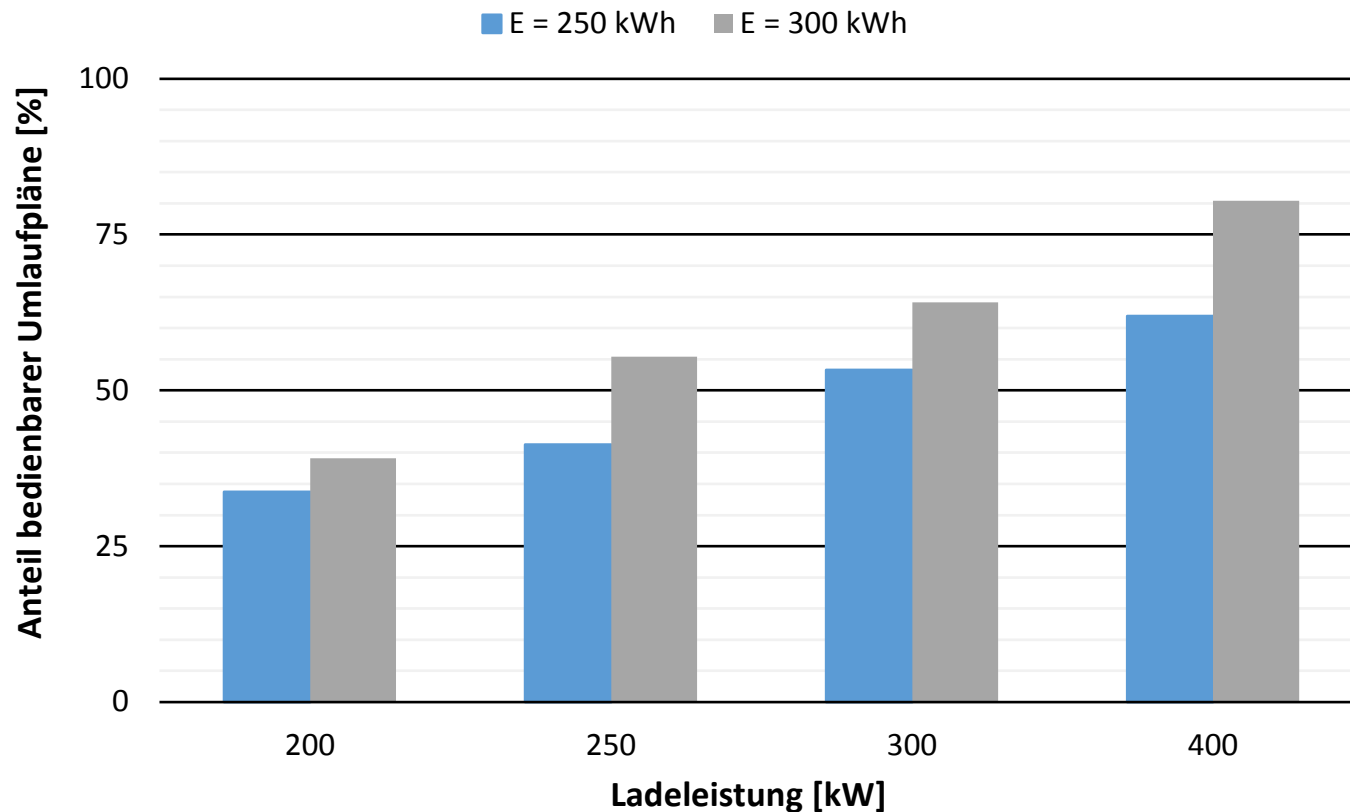
Bewertung von Gelegenheitsladern

Ergebnisse – Querschnitt



Gefördert durch:
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

■ Solobusse – Elektroheizung (COP = 1)



Bewertung von Gelegenheitsladern

Ergebnisse – Beispiel deutsche Großstadt

■ Solo- und Gelenkbusse – Brennstoffheizung

XX10X01	XX10401	XX10X01	XX10901	XX1X401	XX1X501	XX1X601	XX1XX01												
XXX0101	XXX0X01	XXX0X01	XXX0401	XXX0501	XXX0601	XXX0X01	XXX0X01												
XXX0X01	XXX0501	XXX1401	XXXX101																
XX40X01	XX41901	XX4X101	XX4XX01	XX4X401	XX4X501	XX4X601													
XX50101	XX50X01	XX50X01																	
XX60101	XX60X01	XX6X101																	
XXX0X01	XXX1401																		
XXX1X01	XXX1X01	XXX001	XXXXX01																
XX91101	XX91X01	XX91401	XX91501	XX9XX01															
XX00101	XX00X01	XX00X01	XX00401	XX00501	XX00601	XX01001	XX01101	XX01X01	XX01401	XX01501									
XX01601	XX01X01	XX01X01	XX01901	XX0X001	XX0XX01	XX0XX01	XX0XX01	XX0X901	XX0XX01										
XX10X01	XX10501	XX1X101	XX1XX01	XX1X401	XX1X501														
XXX0101	XXX0X01	XXX0401	XXX0601	XXX0X01	XXX0X01	XXX0901	XXX1001	XXX1X01	XXX1X01	XXX1501									
XXX1X01	XXX1901	XXX1101	XXXXX01	XXXXX01															
XXX0101	XXX0X01	XXX0501	XXX0X01	XXX0X01	XXX0901	XXX1X01	XXX401	XXXX601											
XX41001	X4X0X01																		
XX50101	XX50X01	XX50401	XX50401	XX5X001															
XX60101	XX60X01	XX60X01	XX60401																
XXX0101	XXX0X01	XXX0X01	XXX0X01	XXX101	XXXXX01	XXX401	XXX501	XXX601											
XXX0X01	XXX0401	XXX0X01	XXX1401	XXX1501	XXX1601	XXX1X01	XXX1X01	XXX1901	XXX401	XXXXX01	XXXX001								
X510X01	X510X01	X510X01	X51X101	X51X901	X51X101	X514X01													
XX60101																			
XXX0101	XXX0X01	XXX0401	XXX0501	XXX1501	XXX1601	XXX1X01	XXX1901	XXXX101	XXXXX01										
XX90X01	XX91X01	XX91X01																	
XX50101	XX50X01	XX50X01	XX50501	XX50601	XX50X01	XX50X01	XX50901	XX51001	XX51X01	XX51X01									
XX51401	XX51601	XX5X101	XX5XX01	XX5X601	XX5XX01	XX5X901	XX5X001												
XX90101	XX90X01	XX90X01	XX90401	XX90501	XX91X01	XX91X01	XX91X01	XX9X001	XX9X101	XX9X601									
XXX1101	XXXXX01	XXXXX01																	
XXX0101	XXX0X01	XXX0X01	XXX0401																
XX40101	XX40X01	XX40X01	XX40901	XX41001	XX41X01	XX41X01	XX4X101	XX4X401	XX4X501	XX4X601	XX44001								
XX50X01	XX50501	XX51401	XX5XX01	XX5XX01	XX5X901														
XX61101	XX61X01	XX61501	XX61601	XX61X01	XX6XX01														
X6XX101																			

Umlaufplan

- bedienbar
- knappe Reserve
- nicht bedienbar

Bewertung von Gelegenheitsladern

Ergebnisse – Beispiel deutsche Großstadt

■ Solo- und Gelenkbusse – Elektroheizung (Stand der Technik)



Umlaufplan



Zwischenfazit

- großer technisch möglicher Markt für Gelegenheitslader
 - mit Brennstoffheizung
 - mit großer Batterie
 - mit hoher Ladeleistung
- elektrische Heizungen (Stand der Technik) schränken Einsatzmöglichkeiten signifikant ein
- innovative Heizungssysteme erhöhen Einsatzmöglichkeiten für vollelektrische Batteriebusse

Zielgröße für Reichweiten

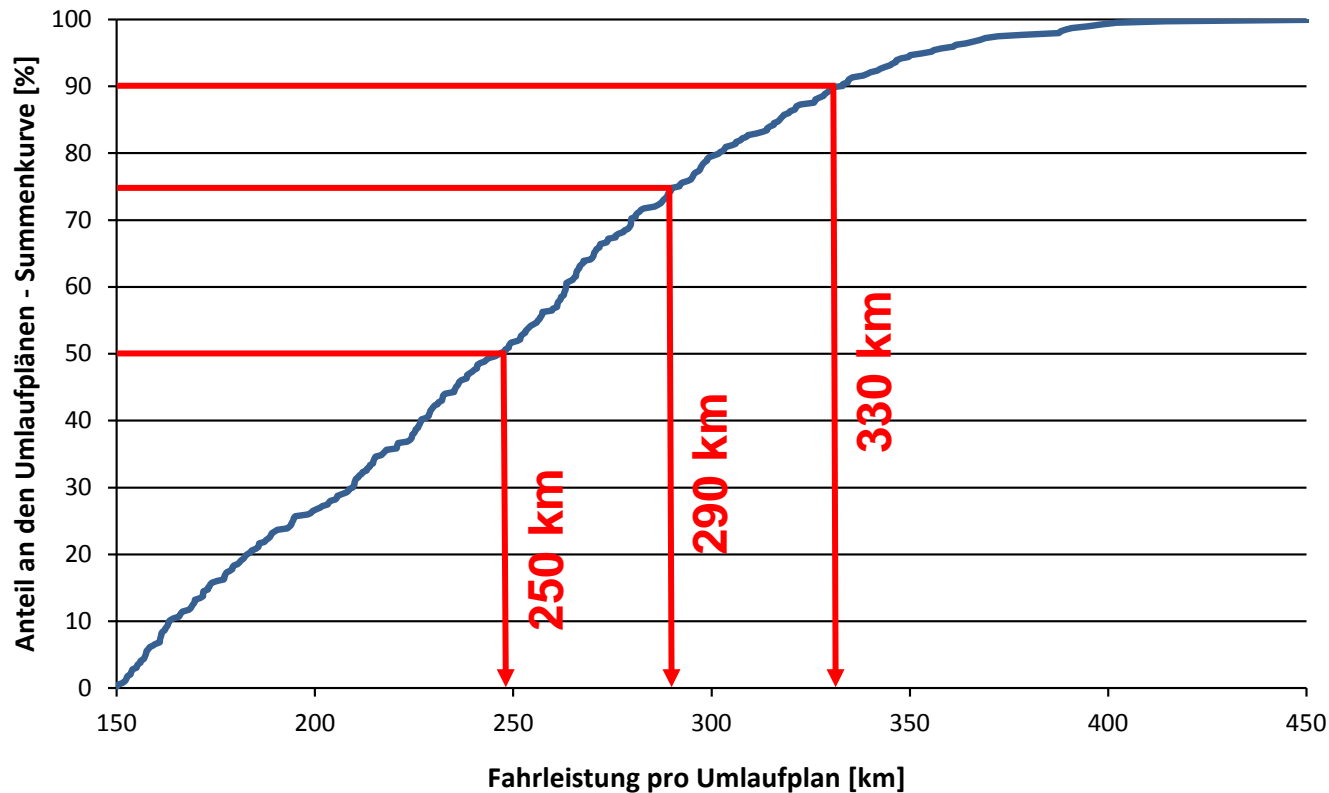
Beispiel Solobusse



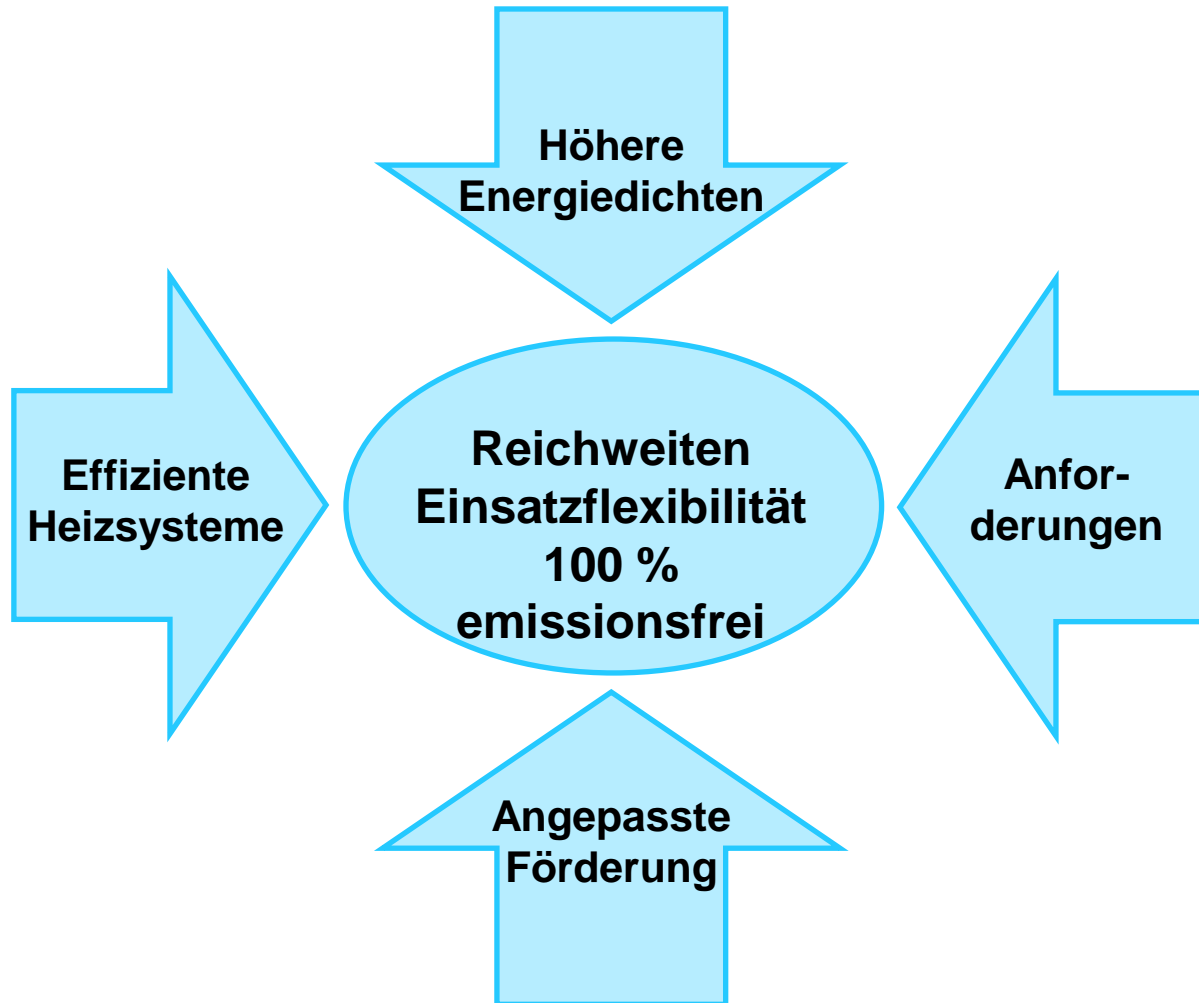
Gefördert durch:
Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- Umlaufpläne – Summenkurve der Fahrleistungen > 150 km
 - tatsächlicher Markt, da wirtschaftlich vertretbar



Zielgröße für Reichweiten Zielerreichung



Maßnahmen

F&E, Förderung, Politik

■ F&E

- Energiespeicher und
- Heizungssysteme

■ angepasste Fahrzeugförderung (inkl. Ladeinfrastruktur)

- Unterstützung eines Markthochlaufs
- vorläufig kein Ausschluss von Brennstoffheizungen
- Anreize für Hybridheizungen
- Anreize für vollelektrische Heizungssysteme

■ vorläufige Anpassung der Anforderungen an Komfort

- Herabsetzung der Innenraumtemperatur an extrem kalten Tagen

FORSCHUNG.bewegt



DRESDEN

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Thoralf Knotte, Beate Haufe

Fraunhofer-Institut für
Verkehrs- und Infrastruktursysteme

Zeunerstraße 38
01069 Dresden

www.ivf.fraunhofer.de