# **Nu**tzerzentriertes **R**eichweitenmanagement **E**lektrobusse

# NuR.E

## Abschlussbericht


| Projektleiter | Projektkoordination | Praxispartner |
|---|---|---|
| **Prof. Dr. Thomas Franke**<br>**Universität zu Lübeck**<br>Institut für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS)<br>Ratzeburger Allee 160<br>23562 Lübeck<br>franke@imis.uni-luebeck.de | **Markus Gödker**<br>**Universität zu Lübeck**<br>Institut für Multimediale und Interaktive Systeme (IMIS)<br>Ratzeburger Allee 160<br>23562 Lübeck<br>goedker@imis.uni-luebeck.de | **Stadtverkehr Lübeck GmbH**<br>Ratekauer Weg 1-7<br>23554 Lübeck<br>info@svhl.de |



**Gefördert durch die:**

Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH

Im Programm HWT Energie und Klimaschutz

Projektnummer 8/12-31

Laufzeit: 02/2018 - 01/2020

# Inhaltsverzeichnis

**Inhaltsverzeichnis** **2**

**Abbildungsverzeichnis** **3**

**Tabellenverzeichnis** **4**

**Zusammenfassung** **5**

**1. Einleitung** **6**
1.1. Theoretische Grundlagen des Reichweitenmanagements 6
1.1.1. Systemvertrauen 6
1.1.2. Situation Awareness & Situationsmodell 7
1.1.3. Handlungsregulation 7
1.1.4. Psychologische Reichweitenschwellen 8
1.1.5. Heuristiken & Metaphern 9
1.1.6. EcoDriving 10
1.2. Methodischer Ansatz nach DIN ISO 9241-210 11

**2. Nutzerzentrierte Entwicklung des NuR.E Reichweitenmanagementsystems** **14**
2.1. Literatur 14
2.2. Anforderungen 15
2.2.1. Interviewstudie zur Reichweiteninteraktion 15
2.2.2. Experteninterview zu potenziellen Nutzungsfragen 17
2.3. Iterationen 20
2.3.1. Reichweitenbewertung 20
2.3.2. Reichweitensteigerung 37

**3. Grundlagen der Nutzer-Energie-Interaktion** **50**
3.1. Psychologische Reichweiten 50
3.2. Energy Dynamics Awareness 52

**4. Projektoutputs** **56**
4.1. Demonstratorsystem 56
4.2. Leitfaden 59
4.3. Wissenschafts-/Öffentlichkeitskommunikation 59

**5. Ausblick** **61**
5.1. Offene Forschungsfragen 61
5.2. Forschungsausblick 61

**Literaturverzeichnis** **63**

# Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1. Feedbackkontrollschleife im Kontext Reichweite im Elektroauto 8
Abbildung 2. Psychologische Reichweitenschwellen 9
Abbildung 3. Phasen des menschenzentrierten Entwicklungsprozesses 12
Abbildung 4. Ablauf der Reichweiteninteraktion im Elektrobus im ÖPNV 16
Abbildung 5. Verteilung der Antworten aus dem Expert:innen-Interview 18
Abbildung 6. Informationen zum Verlauf der Fahrt 23
Abbildung 7. Ganzheitliches Konzept mit verschiedenen Assistenzmodulen 23
Abbildung 8. Konzepte der ersten Anzeige 24
Abbildung 9. Überprüfung der Darstellung zur Reichenweiteninformation 26
Abbildung 10. Boxplots der abhängigen Variablen pro Bedingung 26
Abbildung 11. Verlauf der Konzeption 28
Abbildung 12. Interface - Konzept A zur Metapher “Licht(-signal)” 29
Abbildung 13. Interface - Konzept B zur Metapher “Licht(-signal)” 29
Abbildung 14. Interface - Konzept zur Metapher “Eisberg” 30
Abbildung 15. Interface - Konzept zur Metapher “Wettrennen” 30
Abbildung 16. Interface - Konzept zur Metapher “Balance” 31
Abbildung 17. Interface - Konzept zur Metapher “Lagerfeuer” 32
Abbildung 18. Interface - Konzept zur Metapher “Uhr” 32
Abbildung 19. Finales Interface - Konzept “Die Reichweitenampel”, zur Metapher “Licht(-Signal)” 33
Abbildung 20. Finales Interface - Konzept “Das Reichweitenrennen”, zur Metapher “Wettrennen” 34
Abbildung 21. Indikator Anzeige 38
Abbildung 22. Statistikanzeige 39
Abbildung 23. Korrelationen der Fahrverhaltensindikatoren 44
Abbildung 24. Erstes Mockup des streckenbasierten Feedbacksystems 44
Abbildung 25. Interface des streckenbasierten Feedbacksystems 45
Abbildung 26. Die Evaluationskonzepte “Energieverbrauch” und “Indikatorfeedback”. 46
Abbildung 27. Boxplots der Scores (FOST) 47
Abbildung 28. Boxplots der Scores (EDA Skala) 48
Abbildung 29. Performante Reichweite 51
Abbildung 30. Psychologische Reichweiten im Projekt NuR.E 52
Abbildung 31. NuR.E Systemarchitektur 57
Abbildung 32. Konzept “Feedback” im Demonstratorsystem 58
Abbildung 33. Interface-Konzept “Reichweitenampel” im Demonstratorsystem 58

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Potenzielle Nutzungsfragen zur Berechnung der Reichweite 18
Tabelle 2. Allgemeine Nutzungsfragen (Typ D) zur Reichweitensteigerung 19
Tabelle 3. Nutzungsfragen zu kritischen Reichweitengrenzen 19
Tabelle 4. Nutzungsfragen der Kategorie “Reichweitenangaben” 20
Tabelle 5. Nutzungsfragen der Kategorie “Verbrauch” 21
Tabelle 6. Nutzungsfragen der Kategorie “Akkuladung” 22
Tabelle 7. Die sechs Kandidatenmetaphern mit möglichen Ansätzen zu Framing und Affordances 28
Tabelle 8. Deskriptive Werte der Konzepte A und B 36
Tabelle 9. Ergebnisse der gepaarten t-Tests für alle Skalen inklusive der Effektstärken (Cohens d) 36
Tabelle 10. Berechnungen und Erklärungen der drei Fahrverhaltensindikatoren 42
Tabelle 11. *t*-Test der zwei Skalen zum Vergleich der Bewertungen der Anzeigenkonzepte 48
Tabelle 12. Items der Energy Dynamics Awareness Skala 54
Tabelle 13. Itemstatistiken der EDA Skala 55

## Disclaimer

Dieser Bericht ist durch die Unterstützung von folgenden Mitautor:innen entstanden:

Markus Gödker, Jacob Stahl, Markus Dresel, Jan Heidinger, Daniel Herrmann, Eileen Hiesener, Tobias Reins, & Thomas Franke.

Das Projektteam bedankt sich bei allen, die seit Beginn das Projekt NuR.E unterstützt und vorangetrieben haben.

# Zusammenfassung

Im Projekt NuR.E wurde auf Basis zentraler psychologischer Modelle und Richtlinien der nutzerzentrierten Mensch-Technik-Interaktion ein psychologisch fundiertes, prototypisches Reichweitenmanagementsystem für Elektrobusse im ÖPNV entwickelt.

Die Konzeption und Implementierung des Reichweitenmanagementsystems folgte dem methodischen Ansatz des menschzentrierten Gestaltungsprozesses nach DIN ISO 9241-210. Im ersten Schritt wurden nutzer-, kontext- und systemseitige Anforderungen theoretisch und empirisch abgeleitet und anschließend in mehreren (teils parallelen) Entwicklungs-Iterationen umgesetzt und evaluiert. Dabei wurden die mental-kognitiven und technischen Prozesse der Reichweitenbewertung und Reichweitensteigerung mithilfe unterschiedlicher Ansätze adressiert, beispielsweise die transparente und anpassbare Kalkulation oder die metapher-orientierte Darstellung der Restreichweite.

Anhand empirischer Studien wurden zudem grundlegende psychologische Prozesse des Reichweitenmanagements und der Energiewahrnehmung bzw. -nutzung untersucht. Diese Grundlagen der Mensch-Energie-Interaktionen können über den konkreten Anwendungsfall hinaus Schlüsselkonzepte für eine erfolgreiche Flottenelektrifizierung darstellen.

Das NuR.E Reichweitenmanagementsystem ist als Gesamtsystem aus einzelnen Komponenten der Datensammlung, -übertragung, -speicherung, -verarbeitung und -visualisierung zu verstehen. Es kann als Demonstrator für die eigene Entwicklung eines nutzerzentrierten Reichweitenmanagementsystems dienen und wurde in einem als e-Book frei verfügbaren Leitfaden veröffentlicht. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse wurden zudem auf relevanten Fachkonferenzen veröffentlicht und kommuniziert, sowie an relevante Akteure in Schleswig-Holstein, Deutschland und Europa kommuniziert.

Das Projekt NuR.E konnte damit ein innovatives Demonstratorsystem für ein nutzerzentriertes Reichweitenmanagement im elektrischen Busverkehr aufbauen. Weitere Vorhaben sollten sich auf die experimentelle Überprüfung derartiger Systeme und Realtests im Live-Betrieb fokussieren. Außerdem sollte die Forschung an den grundlegenden psychologischen Konzepten der Mensch-Energie-Interaktion fortgesetzt werden.

# 1. Einleitung

Elektromobilität ist ein wichtiger Baustein für einen nachhaltigen ÖPNV, gerade im Bereich der Busverkehre im öffentlichen Nahverkehr besteht großes Potenzial zur CO2-Einsparung durch Elektromobilität und damit zu einem großen Beitrag zur nachhaltigen Energienutzung und zum Klimaschutz. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, in etablierten organisatorischen Prozessen in Bezug auf Liniennetz und Fahrplan den technischen Herausforderungen der Elektromobilität Rechnung zu tragen. Ein Reichweitenmanagementsystem kann bei der Umstellung unterstützen.

Die Elektrifizierung von Busflotten des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) stellt eine zentrale Bestrebung im Kontext Energie und Klimaschutz dar. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) schätzt, dass die Zahl der im Einsatz befindlichen Elektrobusse im ÖPNV von ca. 100 (Stand: 13.02.2019) in den nächsten Jahren auf ca. 900 steigt[1]. Gerade in Schleswig-Holstein ist die effiziente Nutzung des regional erzeugt Windstroms eine große Chance. Darüber hinaus liegen für städtisch geprägte Verkehrsverbünde die Vorteile der Flotten-Elektrifizierung in der Reduzierung des innerstädtischen Verkehrslärms sowie der lokalen Stickoxid- und Feinstaubbelastung. Dadurch stehen Busunternehmen allgemein und insbesondere das Fahrpersonal vor neuen Herausforderungen.

Die begrenzten Reichweitenressourcen und der hohe Anschaffungspreis von Elektrobussen stellen eine Barriere für die breite Einführung dieser Technologie dar. Zwar bieten bereits heute auf dem Markt erhältliche Elektrobusse technisch mögliche Reichweiten von bis zu 250 km, mit denen theoretisch ca. 70% der Umläufe in einer typischen Großstadt wie Lübeck abgedeckt werden könnten. Demgegenüber steht jedoch ein sehr hoher Anschaffungspreis im Vergleich zu konventionell angetriebenen Dieselbussen. Eine Amortisierung des höheren Anschaffungspreises durch die niedrigeren Betriebskosten pro Kilometer kann dadurch begünstigt werden, dass die Batteriegröße an die tatsächlichen Anforderungen angepasst wird und dass die elektrisch zurückgelegten Kilometer möglichst maximiert werden.

## 1.1. Theoretische Grundlagen des Reichweitenmanagements

Für ein effektives Reichweitenmanagement ist das Vertrauen in die Reichweitenangabe des Fahrzeugs essentiell. Das Systemvertrauen ist von der Verlässlichkeit, Transparenz und allgemein der Wahrnehmung des Systems abhängig. Passt die Anzeigendynamik nicht zum aktuellen Situationsmodell, können Variablen nicht, oder nur teilweise interpretiert werden, was zu fehlerhaften Reichweitenprognosen führen kann. Die Bildung und ständige Anpassung des Situationsbewusstseins kann in diesem Kontext als kontinuierlicher, handlungsregulatorischer Prozess dargestellt werden. In diesem Prozess spielt die komfortable Reichweite aus dem Modell der psychologischen Reichweite als Referenzwert im Abgleich mit dem verfügbaren Reichweitenpuffer eine wichtige Rolle.

### 1.1.1. Systemvertrauen

Vertrauen spielt eine essentielle Rolle in der Interaktion mit automatisierten Systemen (Shneiderman et al., 2016; Lee & See, 2004). Luhmann etablierte eine systemtheoretische Betrachtungsweise, die unter

[1] https://www.lok-report.de/news/deutschland/verkehr/item/9557-vdv-zwischenbilanz-elektrobusse-im-oepnv.html (abgerufen am 10.10.2019)

dem Begriff Systemvertrauen das Vertrauen in gesellschaftliche und auch technische Systeme und Organisationen beschreibt. Maßgeblich wirkt sich dabei die Verlässlichkeit des Systemverhaltens auf das Systemvertrauen aus (Luhmann, 2014). Eine spezifischere Variante des Systemvertrauens ist unter dem Begriff Automationsvertrauen definiert (Lee & See, 2004). Dieser beschreibt das Vertrauen in ein (automatisiertes) System als Einschätzung des Nutzenden, dass dieses System den Nutzenden bei der Zielerreichung in unsicheren Situationen unterstützt. Insbesondere das Systemdesign einschließlich der Komponenten Verlässlichkeit, Vorhersagbarkeit und Transparenz wirken sich stark auf das Vertrauen in ein automatisiertes System aus (Hoff & Bashir, 2015).

In diese Kategorie fällt auch die Verlässlichkeit der Reichweitenangabe im Elektrofahrzeug ("battery electric vehicle", BEV) und das Vertrauen der Fahrer:innen in das Gesamtsystem Elektrofahrzeug. Die erlebte Vertrauenswürdigkeit typischer Reichweitenanzeigen und der Zusammenhang von Systemvertrauen und komfortabler Reichweite war bereits Bestandteil verschiedener Untersuchungen (Lundström, 2014; Jung et al., 2015; Heath et al., 2013). Unter anderem zeigte sich, dass ein höheres Systemvertrauen einen positiven Effekt auf die erlebte Reichweitenunsicherheit und komfortable Reichweite hat. Transparenz und Anpassbarkeit der Reichweitenberechnung stellten sich als potenziell effektive Variablen heraus, die das Systemvertrauen signifikant steigern könnten (Franke et al., 2015b).

### 1.1.2. Situation Awareness & Situationsmodell

Das Konstrukt der Situation Awareness, also des Situationsbewusstseins (SB), beschreibt das Verstehen einer dynamischen Situation, das zum Aufbau einer mentalen Repräsentation dieser prototypischen Situation führt – einem Situationsmodell.

Demnach umfasst die Situation Awareness drei Ebenen. Insbesondere in der ersten Ebene, der Wahrnehmung (Perception), entscheidet sich die Qualität des Situationsmodells im Sinne der Korrektheit und Übereinstimmung mit der Realität (Endsley, 1995). Auf die darauffolgenden Ebenen Verstehen (Comprehension) und Vorhersage (Projection) wirkt sich maßgeblich das subjektive Systemverständnis des Nutzenden aus, das in der Mensch-Technik-Interaktion meist unter dem Begriff mentales Modell gefasst wird (Carroll & Olson, 1987; Wickens et al., 2015). Werden die wahrgenommenen Informationen auf ein falsches oder unvollständiges mentales Modell abgebildet, kann daraus ebenfalls ein inkorrektes Situationsbewusstsein resultieren. Sowohl der Verstehensprozess hin zu einem genauen Situationsmodell als auch die Entwicklung eines korrekten mentalen Modells kann durch Gestaltungsprinzipien zur Entwicklung von Prozessführungs- und Assistenzsystemen positiv beeinflusst werden (Endsley, 2016; Herczeg, 2014).

Übertragen auf den Kontext des Reichweitenmanagements im Elektrobus umfasst das Situationsmodell der Fahrer die Wahrnehmung und Interpretation reichweitenbezogener Daten und Abschätzung der daraus resultierenden Reichweite. Die SB wiederum basiert auf der mentalen Repräsentation der Funktionsweise und des Zustands des Fahrzeugs. Folglich ergeben sich zwei Aspekte für die Entwicklung von Reichweitenanzeigen: Welche Fahrzeug-, Fahrt- und Umweltdaten sollten auf welche Art visuell aufbereitet werden, um das Situationsbewusstsein zu unterstützen? Und wie kann das mentale Modell der Fahrer:innen durch Darstellungen des Systemzustands positiv beeinflusst werden?

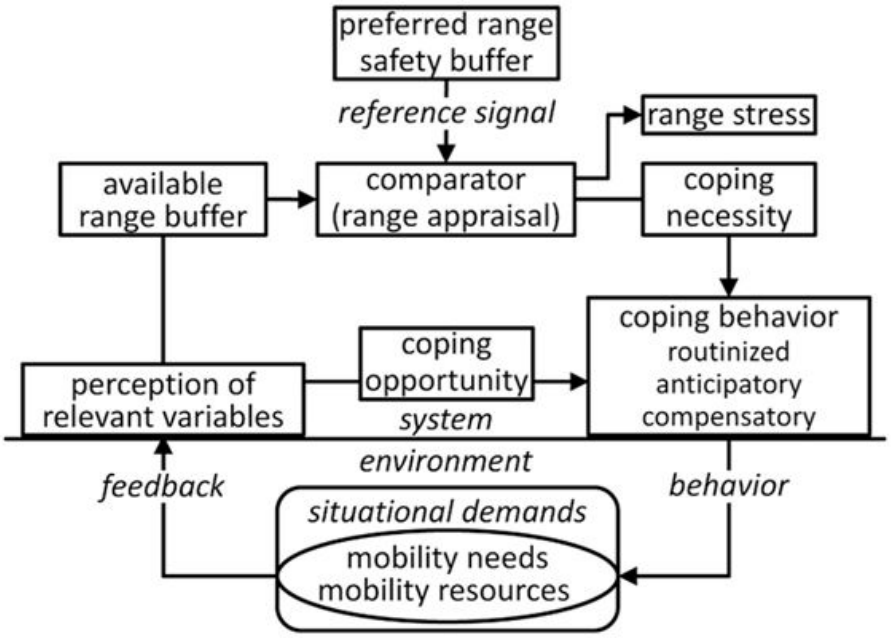
### 1.1.3. Handlungsregulation

In der Arbeitspsychologie spielt der Begriff der Handlung eine zentrale Rolle (Nerdinger, Blickle, & Schaper, 2014). Im Rahmen des Projekts wurde der Begriff der Handlungsregulation im Sinne der

Organisation von zielgerichtetem Verhalten durch Regulationsschleifen verwendet (Hacker, 1978; Volpert, 1992; Nerdinger, Blickle, & Schaper, 2014). Ausgehend von diesem Konzept entwickelten Carver und Scheier (2001) die Selbstregulationstheorie, welche die Handlungskontrolle als Feedbackkontrollschleife zur Erreichung eines definierten Ziels beschreibt. Das Konzept der Selbstregulationstheorie kann auch im Kontext Reichweite im Elektroauto angewandt werden (Franke et al., 2012; Franke et al., 2015a). In Abbildung 1 wird der Kontrollprozess im Umgang mit Reichweitenressourcen dargestellt. Zu Beginn der Schleife werden die Mobilitätsressourcen (mobility ressource) mit den Mobilitätsbedürfnissen (mobility needs) abgeglichen, also beispielsweise die geplante Strecke mit der verfügbaren Akkuladung bzw. Reichweite. Daraus ergibt sich ein – im Idealfall positiver – Reichweitenpuffer, also die voraussichtliche Restreichweite nach Abschluss der geplanten Fahrt.

**Abbildung 1**

*Feedbackkontrollschleife im Kontext Reichweite im Elektroauto*




*Hinweis.* Aus Franke et al. (2015a)

Der individuell gewünschte Reichweitenpuffer (SOLL) wird mit dem verfügbaren Reichweitenpuffer (IST) abgeglichen (comparator) und einer negativen Abweichung durch Veränderungen im Verhalten (coping behavior) entgegengewirkt. Insbesondere in der Wahrnehmung reichweitenbezogener Variablen (perception of relevant variables) können Reichweitenanzeigen in diesem Modell der Handlungsregulation Einfluss nehmen. Je besser die Reichweite durch reichweitenbezogene Anzeigen eingeschätzt werden kann, desto realistischer fällt der prognostizierte Reichweitenpuffer aus. Aber auch der individuell präferierte Reichweitenpuffer kann beeinflusst werden.

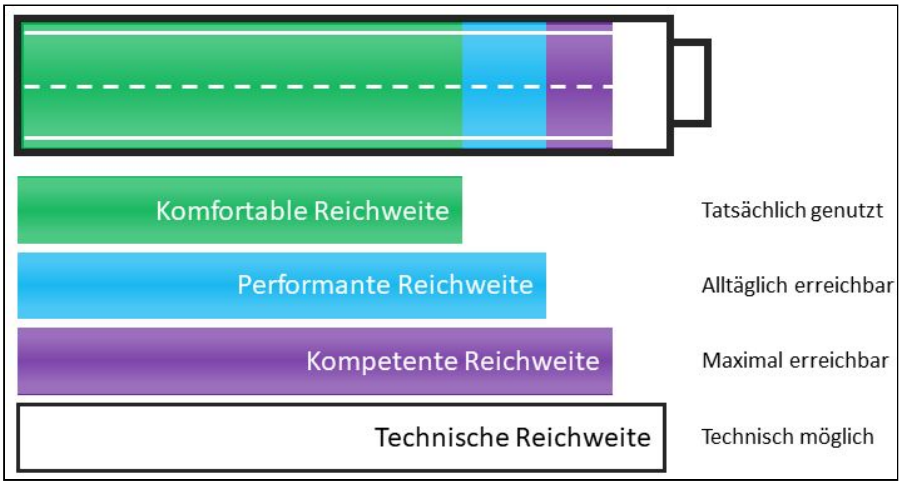
### 1.1.4. Psychologische Reichweitenschwellen

Eine zentrale Herausforderungen der Maximierung der genutzten Kilometer stellen die sogenannten psychologischen Reichweitenschwellen (Franke & Krems, 2013) dar, wie in Abbildung 2 dargestellt ist.

Diese haben die Eigenschaft, dass die technisch mögliche Reichweite auf eine tatsächlich genutzte Reichweite reduziert wird. Durch intransparente und unverständliche Anzeigen im Bus kann es dazu kommen, dass ein substanzieller Anteil der Batteriekapazität als Sicherheitspuffer vorgehalten wird und damit ungenutzt bleibt. Darüber hinaus ist die effizientere Nutzung der technischen Reichweite aufgrund mangelnder Systemunterstützung bei Kompetenzerwerb und Handlungssteuerung sowie durch die Nachrangigkeit des Reichweitenmanagements im Verhältnis zu den vielen anderen Aufgaben für das Fahrpersonal meist herausfordernd.

**Abbildung 2**

*Psychologische Reichweitenschwellen*




Zusammengefasst sollte ein nutzerzentriertes Reichweitenmanagement also unter anderem wesentlich dazu beitragen, die komfortablen Reichweiten von Elektrobussen durch Reduzierung der Unsicherheiten zu homogenisieren und für das Fahrpersonal transparenter darzustellen und damit letztendlich die nutzbare Reichweite zu steigern.

### 1.1.5. Heuristiken & Metaphern

Vereinfacht können Heuristiken als mentale Abkürzungen oder Daumenregeln bezeichnet werden, welche Menschen in alltäglichen Bewertungs- und Entscheidungssituationen nutzen (Beck, 2014). In der Regel werden diese Situationen nicht als mathematische Probleme gelöst, wie zum Beispiel durch das Ausrechnen expliziter Wahrscheinlichkeitswerte. Stattdessen wird auf eine eher beschränkte Rationalität (bounded rationality) zurückgegriffen (Simon, 1972; Gigerenzer & Todd, 1999). Heuristiken sind in diesem Kontext Regeln, die es Menschen ermöglichen, durch die Beschränkung auf wenige Aspekte eines komplexen Problems, einfach und effizient zu Entscheidungen oder Urteilen zu gelangen (Harris, 2007; Lewis, 2008).

Der Begriff Metapher beschreibt im Kontext des Designs von Mensch-Computer-Systemen eine Übertragung von bekannten kausalen Zusammenhängen aus einer vertrauten Quelldomäne in eine weniger vertraute Zieldomäne, wobei die wesentliche Struktur erhalten bleibt (Preim & Dachselt, 2010). Im Bereich Mensch-Technik-Interaktion wird dieser Ansatz häufig genutzt, um eine leicht verständliche Analogie zwischen einem realen Objekt oder Prozess (Quelldomäne) und der Benutzungsschnittstelle des technischen Systems (Zieldomäne) aufzuzeigen bzw. zu entwickeln. Bei der expliziten Nutzung einer

solchen Analogie zur Entwicklung einer Benutzungsschnittstelle wird diese als Interface-Metapher (Interface Metaphor) bezeichnet (Carroll et al., 1988).

Bezogen auf den Anwendungskontext der (Elektro-)Mobilität und insbesondere die Reichweitenbewertung und deren Erfahrbarkeit gibt es bisher nur sehr wenig Forschung, die sich mit der Entwicklung geeigneter (Interface-)Metaphern befasst. Die wenigen publizierten Arbeiten, die den beschriebenen Kontext tangieren, beziehen sich entweder auf Metaphern für andere Aufgaben (z.B. Navigation: Topliss et al., 2018) oder versuchen Erfahrbarkeit von Energie durch andere Ansätze zu vermitteln (z.B. einfache multimodale Signale: Landau et al., 2014; Loehmann et al., 2014). Dabei wird auch die entscheidende Bedeutung der Nachvollziehbarkeit bei Darstellungen von energiebezogenen Dynamiken in batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen festgestellt (Franke et al., 2015b). Die Ergebnisse einer Studie von Arend und Franke (2017), bei der besonders erfolgreiche EcoDriver:innen befragt wurden, weisen erstmals darauf hin, dass das Verständnis kinetischer Energieressourcen durch die Nutzung von Analogien (zu bekannten Phänomenen) erleichtert werden kann. Daher scheint die Identifikation geeigneter Quelldomänen sowie die Entwicklung, Visualisierung und Evaluation daraus abgeleiteter Metapher-Konzepte ein wichtiger Schritt.

Interface-Metaphern leisten jedoch in der Regel mehr, als statische, inhaltliche Entsprechungen abzubilden. Sie haben auch motivationale und affektive Konsequenzen für die Benutzer:innen (Carroll et al., 1988). So bieten Interface-Metaphern eine vielversprechende Chance für Gamification, also die Anwendung von spieltypischen Elementen in einem nicht-spielerischen Kontext (Kapp, 2012). Auch hier bestehen bereits Ansätze. Diese versuchen z.B. die effiziente Nutzung elektrischer Energie (Gulbrandsen & Franang, 2015) oder die Anwendung sicherer Fahrpraktiken im Straßenverkehr (Steinberger et al., 2015) zu motivieren. Eine Zusammenführung derartiger Ansätze könnte auch die Motivation für die handlungsintegrierte Reichweitenbewertung erhöhen und somit die unmittelbare Erfahrbarkeit steigern.

### 1.1.6. EcoDriving

Um den Energieverbrauch zu reduzieren und damit die Reichweite zu steigern, bietet die Fahrweise der Fahrenden einen entscheidenen Ansatzpunkt (Bingham et al., 2012; Perrotta et al., 2013). Strategien, die eine energieeffizientere Fahrweise ausmachen, werden auch mit dem Begriff EcoDriving bezeichnet (Neumann et al., 2015; Sivak & Schoettle, 2012).

Im Kontext von EcoDriving bei Elektrofahrzeugen werden häufig Strategien wie reduziertes Beschleunigen, Halten einer konstanten Geschwindigkeit und das bewusste Reduzieren von Be- und Entschleunigungsmanövern genannt (Bingham et al., 2012; Neumann et al., 2015; Perrotta et al., 2013). Des Weiteren sollte unnötiges regeneratives Bremsen vermieden werden, da vor der Rückgewinnung von Energie durch Rekuperieren, Energie durch Beschleunigen verbraucht wird (Neumann et al., 2015) und nicht vollständig zurückgewonnen werden kann (Kumar, 2015).

Potentiell lassen sich einige dieser Strategien auf die sich regelmäßig wiederholenden Fahrmanöver übertragen, welche Linienfahrten im Stadtverkehr charakterisieren. Unvermeidbare Be- und Entschleunigungen, wie durch Ampeln und den Fahrgastwechsel an Bushaltestellen, bieten EcoDriving-Potential in der Weise, wie sie durchgeführt werden. Während Konstantfahrten kann die Geschwindigkeit des Fahrzeuges verringert werden, und der Energiebedarf zum Halten einer konstanten Fahrgeschwindigkeit reduziert werden. Des Weiteren kann mit Hilfe der regenerativen Bremse entschleunigt werden, welche kinetische Energie zum Teil in elektrische umwandelt und speichert (Kumar, 2015).

## 1.2. Methodischer Ansatz nach DIN ISO 9241-210

Der Aufbau und die praktische Umsetzung des Projekts folgt einem menschzentrierten Entwicklungsprozess bestehend aus mehreren Iterationen, welcher sich an den Richtlinien der ISO 9241-210 (International Organization for Standardization, 2019) orientiert (siehe Abbildung 3). Im Projekt wurden, basierend auf einer handlungstheoretischen Nutzungskontextanalyse, in einem iterativen, durch Nutzer:innen-Evaluationen unterstützten Prozess, handlungsintegrierte Visualisierungsansätze und Anzeigenkonzepte entwickelt, um Fahrpersonal und Disponent:innen bei der Abschätzung und Steigerung der im Alltagsbetrieb nutzbaren Reichweitenressourcen zu unterstützen. Neben subjektiven Daten aus Interviews und Fragebögen werden objektive Daten zur Performance des entwickelten Systems zum Reichweitenmanagement erhoben.

Alle praktischen Arbeiten orientierten sich an diesem Vorgehen. Die spezifischen Fragestellungen im Kontext von reichweitenbezogenen Anzeigen wurden jeweils zunächst theoretisch beleuchtet und analysiert. Es folgten Nutzer:innen-, Anforderungs-, Kontext- und Organisationsanalysen zur Definition der Stellschrauben mit dem größten Wirkungsgrad. In partizipativen Designprozessen wurden darauf aufbauend Anzeigenkonzepte und Assistenzsysteme entwickelt und realisiert, die wiederum mit der Zielgruppe und weiteren Stakeholdern evaluiert wurden.

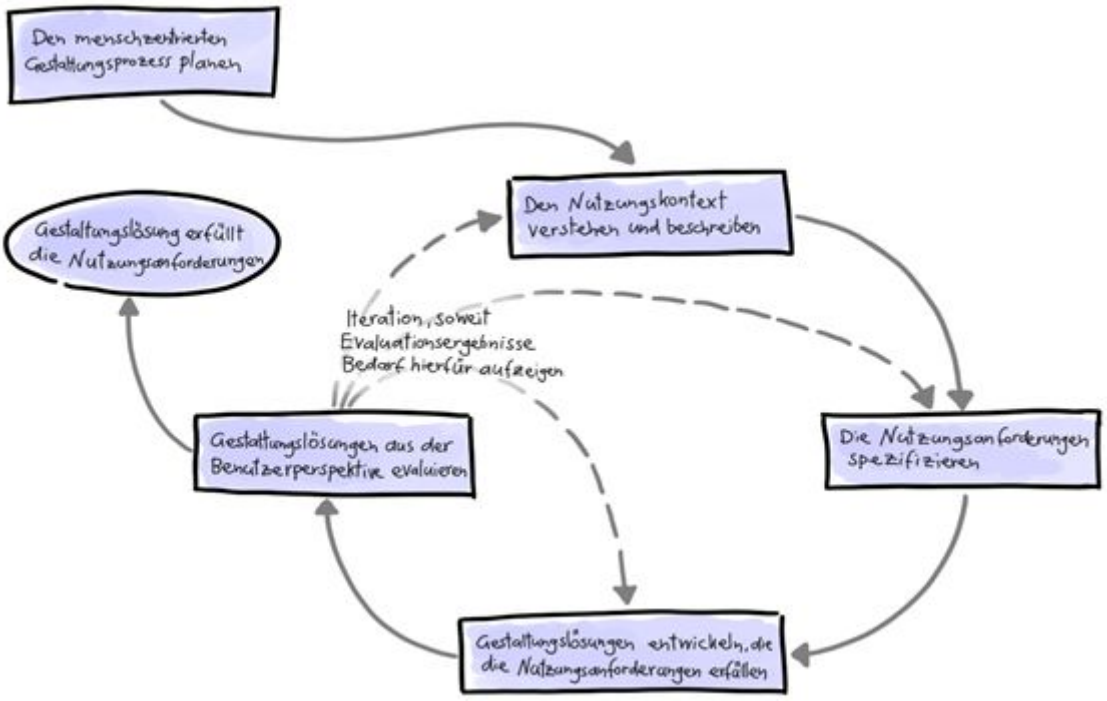
Empirische Nutzer:innen-Studien stellen ein zentrales Element im menschzentrierten Entwicklungsprozess dar. Innerhalb des Projekts NuR.E wurden daher studienübergreifende Prozesse, Regeln und Vorgehensweisen etabliert. Die Durchführung von wissenschaftlichen Nutzer:innen-Studien ist im universitären Kontext Normalität. Im Bereich des Betriebs von ÖPNV sind Studien, die über Arbeitsplatzumfragen hinausgehen, eher selten. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass die meisten Nutzer:innen noch nie an einer empirischen Studie teilgenommen haben und die Vorgehensweise sehr unbekannt ist. Dies muss sowohl in der Planung und Akquise, als auch in der Durchführung der Studien beachtet werden.

Mögliche Arten der Nutzer:innen-Studien sind Interviews, Fragebogen-Studien und auch Feldstudien. In frühen Iterationen sowie zur Ableitung von Anforderungen eignen sich eher qualitative Methoden und (Expert:innen-)Interviews. Diese liefern reichhaltigere aber weniger objektive Ergebnisse. Bei der konkreten Überprüfung von Anforderungen an ein System und zum Vergleich von Systemvarianten sollten quantitative Methoden in Form von Fragebögen und Feldstudien durchgeführt werden.

Die Durchführung von Studien mit dem Fahrpersonal des ÖPNV geht mit besonderen Herausforderungen an die Akquise, die Konstruktion von Materialien und das Vorgehen einher. Anders als im universitären oder Büro-Kontext hat das Fahrpersonal keinen eigenen PC-Arbeitsplatz und auch nur selten überhaupt Zugang zu einem geteilten PC-Arbeitsplatz. Dadurch ist die Durchführung von Online-Fragebögen am Arbeitsplatz nicht möglich. Des Weiteren befindet sich das Fahrpersonal nur kurze Zeit auf dem Betriebshof, und startet meist direkt ihre Schicht im Bus bzw. Verlassen den Betriebshof kurze Zeit nach Beendigung der Schicht. Zusammengefasst ist die Durchführung von Fragebogen-Studien im regelmäßigen Schichtbetrieb nahezu unmöglich. Eine Möglichkeit besteht darin, das Ausfüllen der Fragebögen in die Freizeit und damit zum Fahrpersonal nach Hause zu verschieben. Die Erfahrung zeigt hier, dass die Teilnahmebereitschaft auch bei vergleichsweise hohen Anreizen (10€ Amazon-Gutschein für 45 Min Fragebogen) sehr gering ist und für quantitative Analysen nicht ausreicht.

**Abbildung 3**

*Phasen des menschzentrierten Entwicklungsprozesses*




*Hinweis.* Nach ISO 9241-210 (International Organization for Standardization, 2019).

Im Projekt NuR.E hat sich als vielversprechende Lösung die Durchführung von Nutzer:innen-Studien während gesetzlich verpflichtenden Weiterbildungs-Schulungen herausgestellt. Hier saß das Fahrpersonal meist in mittelgroßen Gruppen in ruhiger Arbeitsatmosphäre für einen halben oder ganzen Tag. Mit Anreizen wie einer Gutscheinverlosung und dem Mitbringen von Snacks für den Schulungstag entstand eine kooperative Atmosphäre. Es waren sowohl ein Beamer als auch eine Leinwand vorhanden, auf dem Studienmaterial wie Videos oder Bilder präsentiert werden konnten.

Leider konnten keine echten Feldtests zur Evaluation von Anzeigenprototypen durchgeführt werden, da die Busse 10 Tage nach einsetzen des ersten Prototyps herstellerseitig stillgelegt werden mussten.

Die Einhaltung des Datenschutz und die Ermöglichung der anonymen Studienteilnahme mit gleichzeitiger Möglichkeit Längssschnittdaten zu erfassen bzw. eine Zuordnung zu den Fahrdaten zu machen ist eine Herausforderung. Im Projekt NuR.E wurde diese Herausforderung in enger Absprache mit dem Betriebsrat des Stadtverkehrs Lübeck umgesetzt. Dabei galt es zu beachten, dass die Universität die personenbezogenen Daten (z.B: aus der Kontaktierung oder der Verlosung von Gutscheinen) niemals mit Fahrt- und Studiendaten in Verbindung bringen kann und der Stadtverkehr Lübeck, Fahrt- und Studiendaten nur in aggregierter bzw. anonymisierter Form erhält, um keine Zuordnung zu den vorliegenden personenbezogenen Daten vornehmen zu können. Daher wurden alle Fahrt- und Studiendaten universitätsseitig unter einem Teilnahmecode, den die Teilnehmer:innen sich selbst aus personenbezogenen Informationen ableiten können, gespeichert. Dies hat den Vorteil, dass man sich diesen Code immer wieder selbst erstellen kann ohne ihn auswendig lernen zu müssen und somit auch die Löschung der Daten anfordern kann. Die Fahrdaten wurden zunächst uhrzeitabhängig gespeichert. Der Stadtverkehr Lübeck konnte ermitteln welche:r Fahrer:in zu welcher Uhrzeit die Busse bediente und

gab diese Information pseudonymisiert an die Universität weiter. Das Pseudonym war eine dem Fahrpersonal bekannte eindeutige sogenannte “Verkäufernummer”, die zwar dem Stadtverkehr Lübeck und dem Fahrpersonal aber nicht der Universität bekannt war. Dadurch war es bereits möglich Fahrdaten desselben Fahrpersonals zu erkennen. Zusätzlich konnte das Fahrpersonal bei Umfragen sowohl einen Teilnahmecode angeben, als auch die Verkäufernummer um damit die Zuordnung von Teilnahmecode (und damit Studiendaten) und Verkäufernummer (und damit Fahrdaten) zu erlauben. Auch mit dieser Zuordnung war für die Universität nicht festzustellen um welche Person es sich dabei handelt. Zu jeder Zeit war es auch möglich, weder Teilnahmecode noch Verkäufernummer anzugeben um die Anonymität komplett zu wahren.

# 2. Nutzerzentrierte Entwicklung des NuR.E Reichweitenmanagementsystems

Im folgenden Abschnitt werden die Entwicklungsschritte für das NuR.E Reichweitenmanagementsystem beschrieben. Dabei wird sowohl auf die Anforderungen, die Designkonzeptionen und die Evaluationen eingegangen. Bei den einzelnen Schritten und Anzeigen handelt es sich teilweise auch um Forschungskonzepte zur Untersuchung bestimmter psychologischer Wirkprinzipien (z.B. Metaphern) und damit nicht um direkt im Bus einsetzbare Anzeigen. In den meisten Fällen sind mindestens weitere Überarbeitungen notwendig, oder die Wirkprinzipien müssen in neue Anzeigen übertragen werden.

## 2.1. Literatur

Das NuR.E Reichweitenmanagementsystems soll die Reichweiteninteraktion an zwei Stellen unterstützen: der Reichweitensteigerung und der Reichweitenbewertung. Um vielversprechende Ansätze verfolgen zu können werden diesbezüglich bisherige empirische Befunde aus der Literatur herangezogen. Mögliche Einsparungen im Energieverbrauch von Elektrobussen im Nahverkehr durch umweltbewusstes Fahren sind bisher nicht in groß angelegten Feldversuchen untersucht worden. Erste Studien mittels Feldexperimenten (Zhou et al., 2016) oder Simulationsstudien (Perrotta et al., 2013) deuten an, dass eine Verbesserung der Energieeffizienz um etwa 15% möglich ist. Elektrofahrzeuge haben spezifische Energiedynamiken wie z.B. den bidirektionalen Energiefluss durch regeneratives Bremsen, welche Herausforderungen und Chancen für ökonomisches Fahren und das damit verbundene Anzeigendesign darstellen (Strömberg et al., 2011). Während sich die bisherige Forschung zu Energieanzeigen für EcoDriving mit EVs auf die individuelle Nutzung des Pkw fokussiert (z.B. Dahlinger et al., 2018), wurde dem Kontext von elektrisch betriebener LKW und Busse bisher nur begrenzte Aufmerksamkeit geschenkt. Insbesondere in so komplexen Arbeitsumgebungen wie der Führung eines Elektrobusses im öffentlichen Nahverkehr, in denen sich die Ziele des Fahrpersonals und die kognitive Belastung stark von denen in privaten PKW unterscheiden, ist ein Verständnis der Perspektive der und der Regulierung des Verhaltens der Nutzenden (Frese, 2009) wichtig, um EcoDriving effektiv zu unterstützen (Tozzi et al., 2016; Arend & Franke, 2017).

Entscheidend für den Erfolg eines Feedbacksystems ist die Motivation des Fahrpersonals, das Feedback zu berücksichtigen. Nach der Cognitive Evaluation Theory von Deci und Ryan (1985), einem Teilaspekt der Selbstbestimmungstheorie, kann Feedback jedoch die intrinsische Motivation sowohl fördern als auch untergraben. Das Feedback sollte demnach möglichst informativ geliefert werden und nicht wertend auf das Fahrpersonal wirken, um vor allem die Wahrnehmung von Überwachung oder den Eindruck von Inkompetenz durch schlechte Bewertungen zu vermeiden (Deci & Ryan, 1985; Ryan & Deci, 2000). Bei der Konzeption der Repräsentation des Feedbacks sollte daher darauf geachtet werden, dass das Feedback möglichst nicht als Verstärkung und Bestrafung, sondern informierend vermittelt wird.

Für eine effektive Nutzung des Feedbacks mit einer erfolgreichen Verhaltensanpassung hin zu einer energieeffizienteren Fahrweise ist außerdem die wahrgenommene Selbstwirksamkeit des Fahrpersonals ein wichtiger Faktor (Gödker & Franke, 2018). Mit der Theorie der Selbstwirksamkeitsüberzeugung hat Bandura (1977) den Zusammenhang zwischen wahrgenommener Selbstwirksamkeit und Veränderungen

des Verhaltens beschrieben. Daraus folgt, dass die Busfahrenden für eine erfolgreiche Anpassung des Fahrverhaltens davon überzeugt sein müssen, dass ihr Verhalten etwas ändern oder beeinflussen kann.

## 2.2. Anforderungen

Die primäre Aufgabe von Busfahrer:innen im ÖPNV besteht in der Steuerung des Fahrzeugs, wobei vor allem die Sicherheit (Beachtung geltender Verkehrsregeln, Rücksicht auf andere Verkehrsteilnehmer:innen, etc.) sowie das fahrplangemäße Anfahren der Haltestellen wichtig sind. Zudem muss auch auf Sicherheit und Komfort der Fahrgäste geachtet werden.

Hinzu kommen weitere Aufgaben, welche in bestimmten Situationen erledigt werden müssen. Zu diesen gehört die Ticketkontrolle sowie deren Verkauf (während des Haltens an Bushaltestellen), das Öffnen und Schließen der Bustüren und das Absenken des Busses zwecks Fahrgastwechsel sowie ggf. körperlich eingeschränkten Fahrgästen den Ein- und Ausstieg zu ermöglichen. Darüber hinaus fällt auch das Reichweitenmanagement, also das Haushalten mit den Energieressourcen des Busses, in den Aufgabenbereich des Fahrpersonals.

All diese Aufgaben müssen unter Berücksichtigung des vorab festgelegten Zeitplans ausgeführt werden, was zu einer starken kognitiven Belastung der Busfahrer:innen in ihrem Berufsalltag führt. Darüber hinaus ergab eine Befragung von Busfahrer:innen, dass diesen während der Fahrt und beim Halten an Haltestellen am wenigsten Zeit zur Verfügung steht. Aus diesen Gründen sollte die kognitive Belastung durch zusätzliche Anzeigen minimal sein. Ein Schlüsselaspekt hierfür ist die starke Reduktion des Informationsvolumens während der Fahrt (Gödker et al., 2018).

Wenn eine Unterstützung der Reichweitenbewertung handlungsintegriert erfolgen soll, erscheint somit die Nutzung heuristischer Bewertungsansätze sinnvoll, da diese sich nur auf einen kleinen Teil der relevanten Informationen beschränken und per Definition möglichst effizient mit zeitlichen- und kognitiven Ressourcen umgehen (Gigerenzer & Gaissmaier, 2011).

### 2.2.1. Interviewstudie zur Reichweiteninteraktion

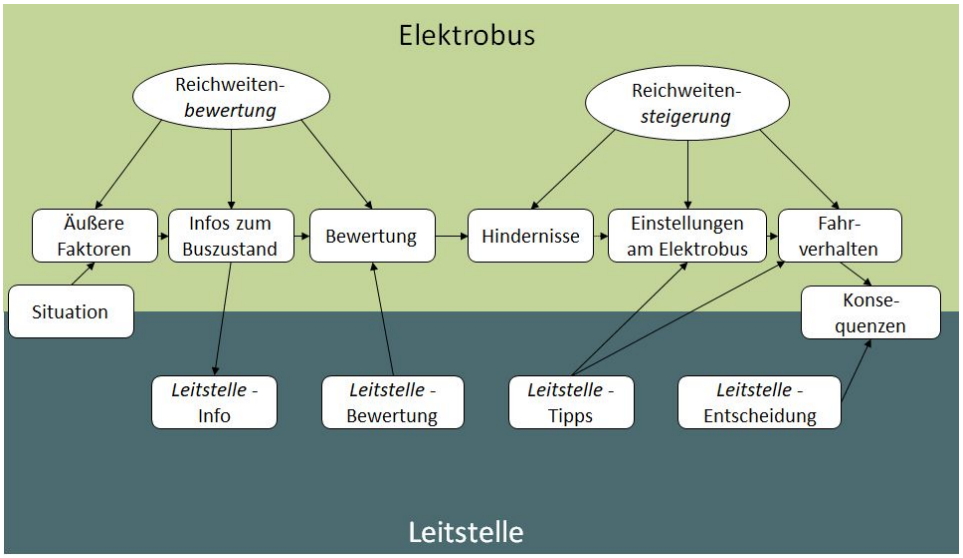
Zur Analyse der Reichweiteninteraktion im Elektrobus, also wie die Reichweite bewertet und gesteigert wird und welche Einflüsse dies erschweren bzw. unterstützen können, wurde eine Interviewstudie mit 10 Busfahrer:innen (2 weiblich; Alter: $M$ = 48.4; $SD$ = 10.8) mit Elektrobuserfahrung (Fahrstunden: $M$ = 14.6; $SD$ = 8.8) durchgeführt. Die Interviewstudie dauerte insgesamt ca. 20 Minuten und beinhaltete sowohl Interviewfragen als auch quantitative Fragen auf einem Fragebogen. Die Fragen des Interviews zielten auf die Schwierigkeiten in der Abschätzung der Reichweite, die Kommunikation mit der Leitstelle, die gewünschten Informationen und die Strategien/Barrieren der Reichweitensteigerung ab. Im Fragebogen wurde neben demografischen Daten auch abgefragt, zu welchen Dienstzeitpunkten (z.B. Dienstbeginn, bei Wendepausen) am meisten Zeit und am meisten Bedarf für Reichweiteninformationen besteht. Außerdem wurde eine Skala zur EcoDriving Motivation abgefragt. Die Teilnehmer:innen erhielten zu einem späteren Zeitpunkt einen weiteren Fragebogen (ca. 10 Minuten), in dem die subjective range competence-Skala (Franke & Krems, 2013) und die komfortable Reichweite (Franke et al., 2015a) abgefragt wurde. Im Anschluss an die Nutzungskontextanalyse wurde ein erster Prototyp durch ein Video präsentiert und mithilfe von vier Fragen evaluiert (ca. 10 Minuten).

Die quantitativen Daten wurden mit SPSS bereinigt und ausgewertet, die Interviewantworten wurden transkribiert und mit der thematischen Analyse nach Braun und Clarke (2006) ausgewertet. Durch die

thematische Analyse werden angesprochene Themen kodiert, zusammengefasst und als Struktur angeordnet. Die finale Struktur ist in Abbildung 4 zu sehen.

**Abbildung 4**

*Ablauf der Reichweiteninteraktion im Elektrobus im ÖPNV*




Die Bewertung der Reichweite wird durch äußere Faktoren wie Fahrgastaufkommen oder dem Wetter erschwert. Andererseits werden Informationen zum Buszustand (z.B. Ladestand) als hilfreich empfunden und für die Bewertung herangezogen. Eine Reichweitensteigerung wird aus Sicht mancher Fahrer:innen durch Hindernisse wie der Verkehrssituation erschwert. Die Reichweite kann sowohl durch Einstellungen am Elektrobus (Nebenverbraucher) als auch durch das ändern des Fahrverhaltens gesteigert werden. Der gesamte Interaktionsprozess wird durch die Kommunikation mit der Leitstelle begleitet. Daneben gibt es noch einige Besonderheiten die die Reichweiteninteraktion im ÖPNV charakterisieren. Zum einen wird der Elektrobus an einem Tag von drei Fahrern:innen gefahren, die sich die Batterieladung gewissermaßen teilen und somit die nachfolgenden Fahrer:innen von den vorherigen abhängig sind. Außerdem gaben manche Fahrer:innen an, dass im ÖPNV kaum Steigerungspotential vorhanden ist, da bereits sparsam gefahren wird, und das Fahrpersonal nichts weiter an dem Fahrverhalten ändern können.

Die Teilnehmer:innen gaben an, dass sie die meiste Zeit für Informationen zur Reichweite zum Dienstbeginn ($M$ = 5:30 min; $SD$ = 1:06) und während der Wendepausen ($M$ = 2:12 min; $SD$ = 1:06) haben. Der meiste Bedarf (Skala: 1 = “gar kein Bedarf” bis 4 = “hoher Bedarf”) bestehe aber während der Ablösung von Kolleg:innen ($M$ = 3.3; $SD$ = 1.1), zum Dienstbeginn ($M$ = 3.2; $SD$ = 1.1) und während der Wendepausen ($M$ = 2.9; $SD$ = 0.9). Wenn die aktuelle Reichweitenanzeige 100 km Restreichweite anzeigen würden, würden die Fahrer:innen mit gutem Gefühl noch $M$ = 70.5 km ($SD$ = 9.6) fahren (ComfDist100). Bei einer angezeigten Restreichweite von 50 km noch $M$ = 27.0 km ($SD$ = 5.4; ComfDist50).

Bei der subjective-range-competence Skala (SRC, Skala von 1 bis 6) wurde durchschnittlich ein Skalenwert von $M$ = 3.6 ($SD$ = 0.6) erreicht. Die SRC erreichte lediglich ein Cronbach’s $\alpha$ = .78. In der Itemanalyse erhielt ein umgepoltes Item die schlechtesten Werte. Beim Entfernen des Items würde

Cronbach's $\alpha$ auf .844 steigen. Zukünftig sollte man das Entfernen des Items oder die besondere Kenntlichmachung der Umpolung in Betracht ziehen. Die Skala zur EcoDriving Motivation (Skala von 1 bis 6), bestehend aus zwei Items, erreichte ein Cronbach's $\alpha$ von .80. Der mittlere Skalenwert beträgt 4.95 (*SD* = 0.6).

In den Zusammenhangsmaßen der Variablen erreichte nur der Zusammenhang zwischen ComfDist50 und der bisherigen Linienbuserfahrung das Signifikanzniveau ($r$ = -.70; $p$ < .05) und der Zusammenhang von Motivation und ComfDist100 ($r$ = .76; $p$ < .05). Der Zusammenhang zwischen ComfDist100 und der SRC verfehlt das Signifikanzniveau knapp ($r$ = .56; $p$ = .09) und könnte möglicherweise bei einer größeren Stichprobe signifikant werden.

### 2.2.2. Experteninterview zu potenziellen Nutzungsfragen

Im Sinne des menschzentrierten Gestaltungsprozess sollten in der Anwendungsentwicklung immer die Nutzer:innen-Anforderungen im Fokus stehen und die Grundlage für die Konzeption darstellen (siehe Abschnitt 1.2.). Unter dieser Prämisse wurden potenziellen Nutzungsfragen im Kontext Reichweite in Elektrobussen in einer Expert:innen-Studie evaluiert. Durch eine Kategorisierung der Nutzungsfragen in zu adressierende Informationskanäle, die in den folgenden Konzeptionen von reichweitenbezogenen Anzeigen aufgegriffen werden können, werden mögliche Einflussfaktoren auf die komfortable Reichweite definiert.

Die Studie wurde mit 9 Wissenschaftler:innen aus dem Forschungsgebiet der Nutzer-Energie-Interaktion (speziell der verfügbaren Energie im Elektrofahrzeug) durchgeführt. Die Teilnehmer:innen sollten potenzielle Nutzungsfragen bezüglich der Reichweite im Elektrobus formulieren. Die Antworten der Expert:innen – also die formulierten, potenziellen Nutzungsfragen – wurden in Anlehnung an die thematische Analyse nach Braun & Clark (2006) strukturiert und kategorisiert. Reichweitenbezogene Anzeigen sollen das Fahrpersonal entweder mit Statusinformationen unterstützen (Dimension Statusinformation), Daten in Relation zu statistischen Werten setzen (Dimension Statistischer Vergleich) oder Handlungsmöglichkeiten aufzeigen (Dimension Handlungsmöglichkeiten).

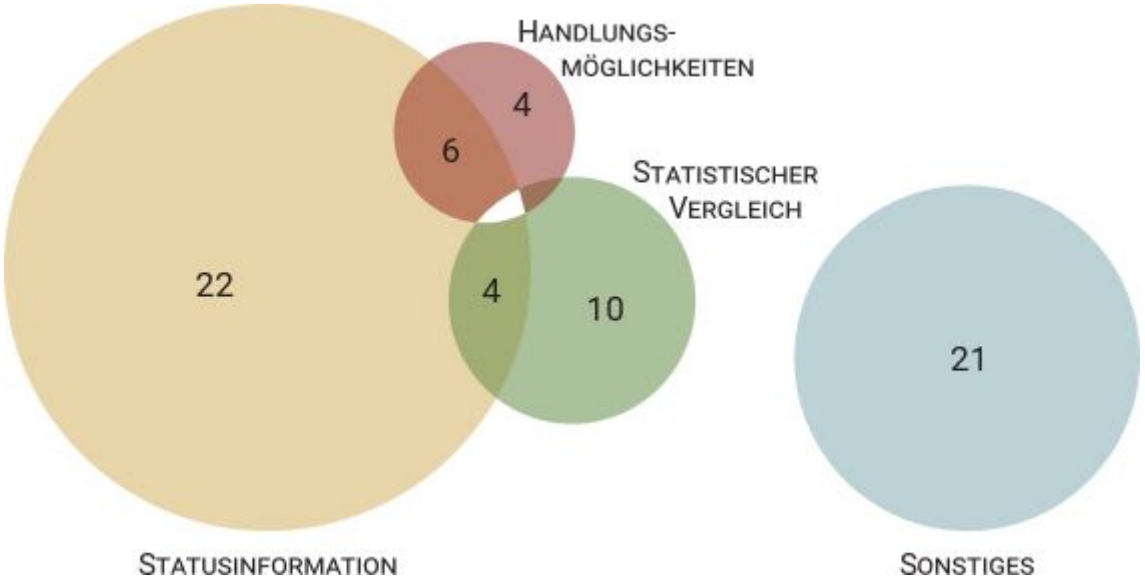
Die Expert:innen hatten ein mittleres Alter von 29.4 Jahren, 6 waren weiblich, alle hatten einen Hochschulabschluss (1 Bachelor, 5 Master, 3 höherer akademischer Abschluss). Alle hatten eine psychologische Ausbildung, 7 forschten im Bereich Nutzer-Energie-Interaktion. Alle Antwortbögen konnten verwertet werden. Insgesamt konnten 68 Nutzungsfragen gesammelt werden. Die Antwortbögen wurden von 01 bis 09 nummeriert. Die einzelnen Antworten wurden römisch mit I bis XIV beziffert; es ergibt sich für jede Frage eine Codierung im Schema [Proband]:[Frage] (z.B. 03:VI), die in den folgenden Tabellen 1 - 6 genutzt wird.

Es zeigte sich, dass knapp die Hälfte (32) der gesammelten Nutzungsfragen im Kontext Reichweite die Bereitstellung von Statusinformationen adressierten. Davon hatten 6 Fragen Überschneidungen mit der Dimension Handlungsmöglichkeiten und weitere 4 mit der Dimension Statistischer Vergleich.

Insgesamt wurden die 68 möglichen Nutzungsfragen in 10 Kategorien eingeteilt. Nutzungsfragen des Typs A betrafen die Reichweitenangabe allgemein: Welche Restreichweite bleibt mir maximal/minimal? Wie passt diese zur Reststrecke? Die 16 Fragen waren segmentiert in Unterkategorien zu einem Reichweitenpuffer – also der Differenz zwischen Restreichweite und Restumlaufstrecke – und zur Genauigkeit und Verlässlichkeit der Angabe. Die Reichweitenangabe basiert immer auf einer Schätzung (abhängig des angelegten Referenzverbrauchs) und ist nur ein Richtwert. Diese Ungenauigkeit könnte statistisch analysiert und kenntlich gemacht werden.

**Abbildung 5**

*Verteilung der Antworten aus dem Expert:innen-Interview*




*Hinweis.* Die grafische Darstellung, basiert auf den drei Dimensionen Statusinformation, Statistischer Vergleich und Handlungsmöglichkeiten.

Weiter beschäftigen sich 9 Fragen mit internen und externe Einflüsse auf die Reichweite (Typ B), seien es Umwelteinflüsse oder das eigene Fahrverhalten. Frage 06:VI skizziert beispielhaft, welche Herausforderung in diese Kategorie steckt: “Besteht ein Risiko, dass die Reichweite auf der restlichen Fahrt noch viel schneller absinkt als bisher?” Eine genau Angabe ist praktisch nicht möglich, was der Begriff des “Risikos” in der Frage bereits impliziert, ein Assistenzsystem könnte jedoch alle tagesaktuellen und statistischen Daten zu einem Indikator zusammenführen.

Direkt hiermit verknüpft ist ein Aspekt, den nur ein:e Expert:in konkret in zwei Nutzungsfragen genannt hatte: die Berechnung der Reichweite (Typ C). Dieser wichtige Aspekt in den konventionellen Reichweiteninterfaces bleibt meist im Verborgenen, was zu Intransparenz und Vertrauensverlusten führen kann (Franke et al., 2015b). Die zuvor genannten Einflüsse können hier direkt kenntlich gemacht und in der Berechnung berücksichtigt werden.

**Tabelle 1**

*Potenzielle Nutzungsfragen zur Berechnung der Reichweite*

| Code | Frage |
|---|---|
| **07:III** | Nach welchen Algorithmen wird die Restreichweite berechnet? |
| **07:IV** | Welche Einflussfaktoren spielen bei der Berechnung der Restreichweite eine Rolle? |

Mit 15 Fragen abgedeckt wurde der Aspekt Reichweitensteigerung. Hier bot sich neben der allgemeinen Betrachtung (Typ D) wieder eine Unterkategorisierung an: Reichweitensteigerung durch eigenes

Fahrverhalten (Typ D:a), durch die Steuerung von Nebenverbrauchern (Typ D:b) und durch die Umwelt (Typ D:c).

**Tabelle 2**

*Allgemeine Nutzungsfragen (Typ D) zur Reichweitensteigerung*

| Code | Frage |
|---|---|
| **02:IV** | In welchem Ausmaß kann mein Verhalten zur Erhöhung der Restreichweite führen? |
| **06:IX** | Was kann ich überhaupt realistisch noch an extra Reichweite rausholen? |
| **06:X** | Auf welchen Wert kann ich die Reichweite steigern? |
| **06:XIII** | Wie kann ich die Reichweite am effektivsten steigern? |
| **08:VIII** | Was kann ich tun um die Reichweite noch etwas zu verlängern, ohne dass ich ein Verkehrshindernis werde? |

Der Verbrauch (Typ E) ist ein Faktor, der viel Potenzial für eine Reichweitenassistenz bietet. Da die Reichweite direkt von einem Referenzverbrauch abhängt, ist es äußerst relevant, das Busfahrpersonal über Momentan-, Durchschnitts-, Maximal und Minimalverbräuche zu informieren. Gleiches gilt für Typ F, der Akkuladung.

Unter Typ G waren zwei Nutzungsfragen kategorisiert, die auf kritische Reichweitengrenzen eingehen. Schwellwerte dieser Art können technisch definiert werden, sind aber auch stark abhängig von organisatorischen und unternehmerischen Aspekten (Risikobereitschaft, Topografie, Streckennetz, etc.). Daher können diese Nutzungsfragen nur in einem konkreten Anwendungsfall beantwortet werden.

**Tabelle 3**

*Nutzungsfragen zu kritischen Reichweitengrenzen*

| Code | Frage |
|---|---|
| **01:V** | Wann (bei welcher kritischen Grenze) muss ich anfangen zu handeln? Z.B. Leitstelle informieren, Fahrverhalten anpassen, Nebenverbraucher abschalten |
| **02:III** | Wenn der Puffer aufgebraucht ist: Ab welchem Zeitpunkt wird mein Verhalten auf den Puffer keinen positiven Einfluss mehr haben können? (zwecks rechtzeitiger Kommunikation) |

*Hinweis.* Kritische Reichweitengrenzen sind ein relevantes Thema, lassen sich aber nur schwer übergreifend und unabhängig vom unternehmerischen Kontext definieren.

Es blieben die Kategorien Schichtwechsel, Umwelt und Sonstiges. Erstere trug dem Umstand Rechnung, dass in der Regel nicht ein:e Fahrer:in einen kompletten Tag mit einem Bus unterwegs ist, sondern es regelmäßige Schichtwechsel gibt. Welche reichweitenbezogenen Informationen können oder sollten der:dem nachfolgenden Fahrer:in mitgegeben werden (Typ H)? Auch dieser Aspekt ist – wie die "kritische Grenze" – stark vom Nutzungskontext und der organisationalen Struktur abhängig; es könnte daher schwierig sein, allgemeingültige Aussagen zu definieren.

Unter Umwelt waren Fragen gesammelt, die sich ausschließlich auf externe, nicht beeinflussbare Faktoren beziehen (Verkehr, Wetter) und nicht explizit auf Auswirkungen dieser Faktoren auf die

Reichweite eingehen (hierin unterscheiden sie sich von Fragen des Typs B:b). Sonstiges schließlich umfasste alle weiteren Fragen, die keiner der genannten Kategorien zugeordnet werden konnten.

Durch das Expert:innen-Interview konnten 10 Informationskategorien definiert werden, die ein Assistenzsystem adressieren kann, um das Fahrpersonal beim Reichweitenmanagement und der Einschätzung der Reichweite zu unterstützen und potenzielle Nutzungsfragen zu beantworten. Sechs dieser Kategorien bieten ein hohes Potenzial für die Entwicklung von Anzeigen: Reichweitenangabe, Reichweitenberechnung, Reichweiteneinflüsse, Reichweitensteigerung, Verbrauch und Akkuladung. Die Kategorien Kritische Grenze, Schichtwechsel, Umwelt und Sonstiges werden nicht weiterverfolgt, da sie zu viele unbekannte Variablen enthalten oder auf einen konkreten Anwendungsfall abzielen.

## 2.3. Iterationen

### 2.3.1. Reichweitenbewertung

Die in der Anforderungsanalyse erfassten und kategorisierten Nutzungsfragen werden durch handlungsintegrierte Assistenzmodule adressiert. Es sollen nun, ausgehen von den gesammelten potenziellen Nutzungsfragen, Anzeigenkonzepte entwickelt werden, die reichweitenbezogene Informationen und Daten handlungsintegriert visualisieren. Die Gestaltung der einzelnen Assistenzmodule baut auf dem psychologischen Modell der Handlungsregulation auf, unterstützt von den Ideen der Situation Awareness und des Systemvertrauens. Ein ergänzender Ansatz der Heuristiken und Metaphern wird später in diesem Abschnitt vorgestellt. Zu erwähnen ist, dass alle in diesem Abschnitt vorgestellten Anzeigenkonzepte ein frühen Status der Entwicklung darstellen und insbesondere dazu dienen, Möglichkeiten, Varianten und Innovationen auszuprobieren. Die tatsächliche Nutzbarkeit im realen ÖPNV Betrieb ist damit nicht direkt gegeben, sondern muss in einer Reihe wissenschaftlich begleiteter Nutzungsstudien untersucht werden.

#### Transparente Reichweitenvisualisierung

Als einfachste (aber womöglich effizienteste) Form der Reichweitenassistenz kann die numerische Angabe der Reichweite visuell ergänzt und so unter anderem Nutzungsfragen zur Kategorie “Reichweitenangabe” adressiert werden. Da die Fahrstrecke jederzeit bekannt ist, bieten sich Darstellungen an, welche die Reichweite auf die verbleibende Fahrstrecke abbilden.

**Tabelle 4**

*Nutzungsfragen der Kategorie “Reichweitenangaben”*

| Code | Frage |
|---|---|
| **01:IV** | Stimmt die Restreichweite, die mir auf dem Display angezeigt wird? |
| **05:I** | Ob die Reichweite heute noch ausreicht? |
| **06:II** | Wie groß ist mein Sicherheitspuffer in %/km? |
| **06:VII** | Inwieweit kann ich der Reichweitenangabe vertrauen? |
| **07:II** | Ist die Anzeige, welche die Restreichweite anzeigt, verlässlich? |
| **08:VII** | Reicht meine verfügbare Restreichweite um die Strecke zu schaffen? |

Die Nutzungsfragen 06:II und 06:III könnten durch eine Anzeige angesprochen werden, welche die Restreichweite mit der Umlaufstrecke in Verbindung setzt. Subtrahiert man die verbleibende Umlaufstrecke von der Restreichweite, erhält man einen Reichweitenpuffer, der die Restreichweite nach Abschluss eines Umlaufs darstellt. Dieser Reichweitenpuffer entwickelt sich im Laufe der Fahrt: ist der Verbrauch höher als üblich, verringert sich der bei der Planung des Umlaufs angesetzte Puffer. Liegt der Verbrauch niedriger, baut sich wieder mehr Reichweitepuffer auf. Die Berechnung der Prognose könnte auf Daten aus vergangenen Umläufen basieren. Die Reichweitenangabe ist eine Vorhersage und immer mit einer Unsicherheit behaftet. Diese Unsicherheit sollte kenntlich gemacht werden, um auch im mentalen Modell des Fahrpersonals berücksichtigt werden zu können.

Direkt aufbauend auf den Ergebnissen von Franke et al. (2015a) und als Antwort auf die potenziellen Nutzungsfragen 07:III und 07:IV sollte zur Steigerung der komfortablen Reichweite die Reichweitenberechnung transparent und anpassbar umgesetzt werden. Die Reichweite basiert auf einer vermeintlich einfachen Rechnung: Akkuladung dividiert durch einen Referenzverbrauch. Während die Akkuladung eine feste Größe ist, die nicht unterschiedlich interpretiert werden kann, bietet der Verbrauch Spielraum: welche Zahl sollte als Referenz angelegt werden und liefert die realistischste Restreichweite?

Wichtig ist in diesem Kontext die Unterscheidung zwischen einer Verbrauchszahl und einem Referenzwert. Aus Sicht der Handlungsintegration sollten die Nutzer:innen keine abstrakte Zahl auswählen, sondern mit Referenzen (z.B. “Verbrauch auf letzten 5 km”) arbeiten – welcher Verbrauch letztlich hinter diesen Referenzen steht, ist nicht relevant. Andererseits ist die Berechnung weniger transparent und ein reichweitenbezogenes Situationsmodell wird möglicherweise beeinträchtigt, wenn nicht klar ist, welche Referenz für welchen Verbrauchswert steht. Welcher Ansatz hier die optimalen Ergebnisse in Bezug auf Systemvertrauen und komfortable Reichweite liefert, gilt es in der Praxis zu evaluieren.

Weitere mögliche Variationen in der Darstellung sind die Auflösung der Werte (Anzahl der Kommastellen) sowie die Energieeinheiten. In den dargestellten Konzepten wird mit kWh (Akkuladung), kWh/km (Verbrauch) und km (Reichweite) gearbeitet, insbesondere für den Verbrauch wären aber durchaus andere Einheiten denkbar (z.B. Wh/km, kWh/100 km, km/kWh, etc.). In diesem Konzept wird die Reichweite auf 100 m, die Akkuladung auf 100 Wattstunden genau dargestellt. Der Verbrauch wird auf 2 Nachkommastellen gerundet.

Eine weitere Informationskategorie sind “Informationen zum Verbrauch”, beschrieben durch die folgenden Nutzungsfragen:

**Tabelle 5**

*Nutzungsfragen der Kategorie “Verbrauch”*

| Code | Frage |
|---|---|
| **01:VII** | Ist mein Verbrauch ok? |
| **01:X** | Wie viel darf ich jetzt maximal verbrauchen, damit ich auf jeden Fall meinen Umlauf zu Ende fahren kann? |
| **06:IV** | Welchen Verbrauch kann ich mir maximal leisten (um noch sicher anzukommen)? |

Eine naheliegende Möglichkeit ist, den Durchschnittsverbrauch auf Linienfahrten zu messen und als Feedback aufzubereiten. Das Fahrpersonal kann so einordnen, ob der Verbrauch kleiner gleich der “Norm” ist oder ob es Abweichungen nach oben gibt, welche die erwartete Reichweite reduzieren

könnten. Zwei Expert:innen formulierten jeweils eine potenzielle Nutzungsfrage, die sich auf einen “maximalen Verbrauch” bezieht (01:X und 06:IV). Da die Reststrecke jederzeit bekannt ist, kann in Kombination mit der Akkuladung genau bestimmt werden, wieviel Energie pro Kilometer noch zur Verfügung steht. Dieser maximale Verbrauch pro Kilometer kann den Fahrer:innen dargestellt werden. Zusammen mit dem Verbrauch auf einzelnen Linienfahrten kann so eingeschätzt werden, ob die angestrebte Reichweite gefährdet ist oder ob ein Verbrauchspuffer bleibt. Schließlich kann die Akkuladestandanzeige, die potenziell in allen Elektrofahrzeugen bereitgestellt wird, ebenfalls um Kontextinformationen erweitert werden.

**Tabelle 6**

*Nutzungsfragen der Kategorie “Akkuladung”*

| Code | Frage |
|---|---|
| **01:XI** | War der Bus zu Beginn voll geladen, oder muss ich damit rechnen, dass ich insgesamt nicht so weit komme wie üblicherweise? |
| **08:IV** | Ich bin die Strecke schon sehr oft mit dem gleichen Bus gefahren. Wie kann ich meinen derzeitigen Ladestand zur Reststrecke auf Grund der bisherigen Erfahrungen einschätzen? |

Eine schlichte Variante der Prozentangabe wäre eine Konkretisierung in Kilowattstunden (oder Amperestunden), die ein besseres Systemverständnis ermöglichen könnte. Zieht man statische Daten heran, könnte die aktuelle Akkuladung auch mit vergangenen Umlauffahrten verglichen werden und so eine Aussage darüber getroffen werden, wie wahrscheinlich es ist, mit dieser Akkuladung den Umlauf planmäßig zu beenden.

In einem frühen Stadium des Projekts entstand die Idee, den Verlauf der Fahrt im Assistenzsystem abzubilden. In Abbildung 6 sieht man in beiden Konzepten rechts den Haltestellenverlauf. Zu jedem Abschnitt – also der Strecke zwischen zwei Haltestellen – wird die Differenz zwischen realer Streckenlänge und verbrauchter Reichweite festgehalten und die Entwicklung des Reichweitenpuffers visualisiert. Der Verlauf kann bis zum Start der Fahrt nachverfolgt werden, indem nach unten gescrollt wird. Die numerische Angabe (linke Darstellung) wurde in einer zweiten Iteration grafisch visualisiert (rechte Darstellung).

Während diese Art der Darstellung durch die sehr direkte Adaption der Realität potenziell ein schnelles Verständnis fördert und das mentale Modell unterstützt, erfordert sie durch die detaillierte Auflösung gleichzeitig ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Konzentration bei der Betrachtung. Da diese Ressourcen im Nutzungskontext nur eingeschränkt verfügbar sind, ist fraglich, ob die Darstellungsart den versprochenen Mehrwert bietet.

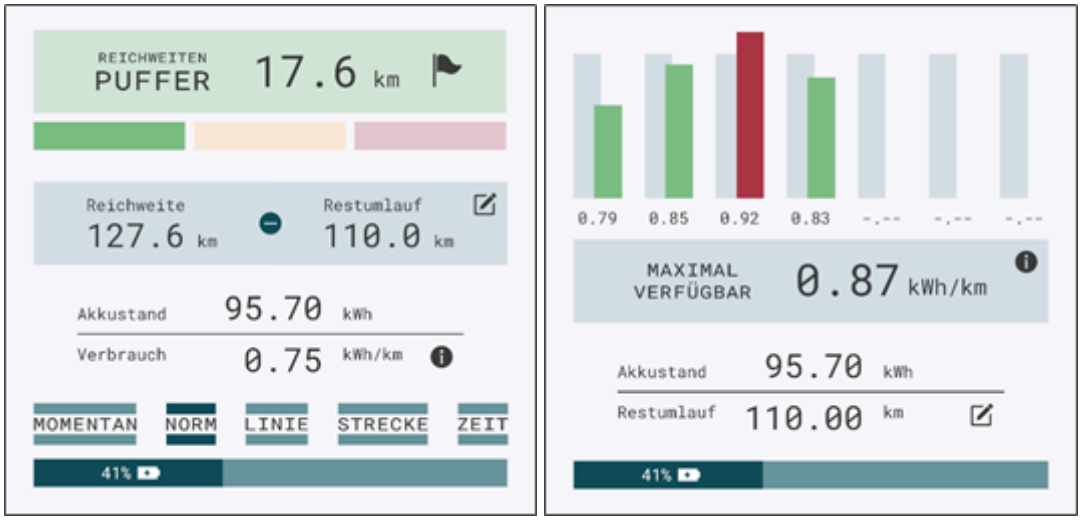
Aus drei Visualisierungsansätzen zum Reichweitenpuffer, der Reichweitenberechnung und dem Verbrauchspuffer wurden zwei Anzeigen entwickelt, deren Fokus auf einer maximal transparenten Darstellung der Daten liegt. Im ersten Konzept (Abbildung 7, links) wird der Reichweitenpuffer aus der Differenz zwischen Restreichweite und Restumlauf hergeleitet. Die Restreichweite wiederum berechnet sich aus der Akkuladung geteilt durch den Referenzverbrauch, der vom Fahrpersonal angepasst werden kann. Im zweiten Konzept (Abbildung 7, rechts) werden die Verbräuche auf einzelnen Linienfahrten mit dem Verbrauchspuffer (“maximal verfügbar”) verknüpft, der sich aus der Akkuladung dividiert durch die Restumlaufstrecke ergibt.

**Abbildung 6**

*Informationen zum Verlauf der Fahrt*

**Abbildung 7**

*Ganzheitliches Konzept mit verschiedenen Assistenzmodulen*



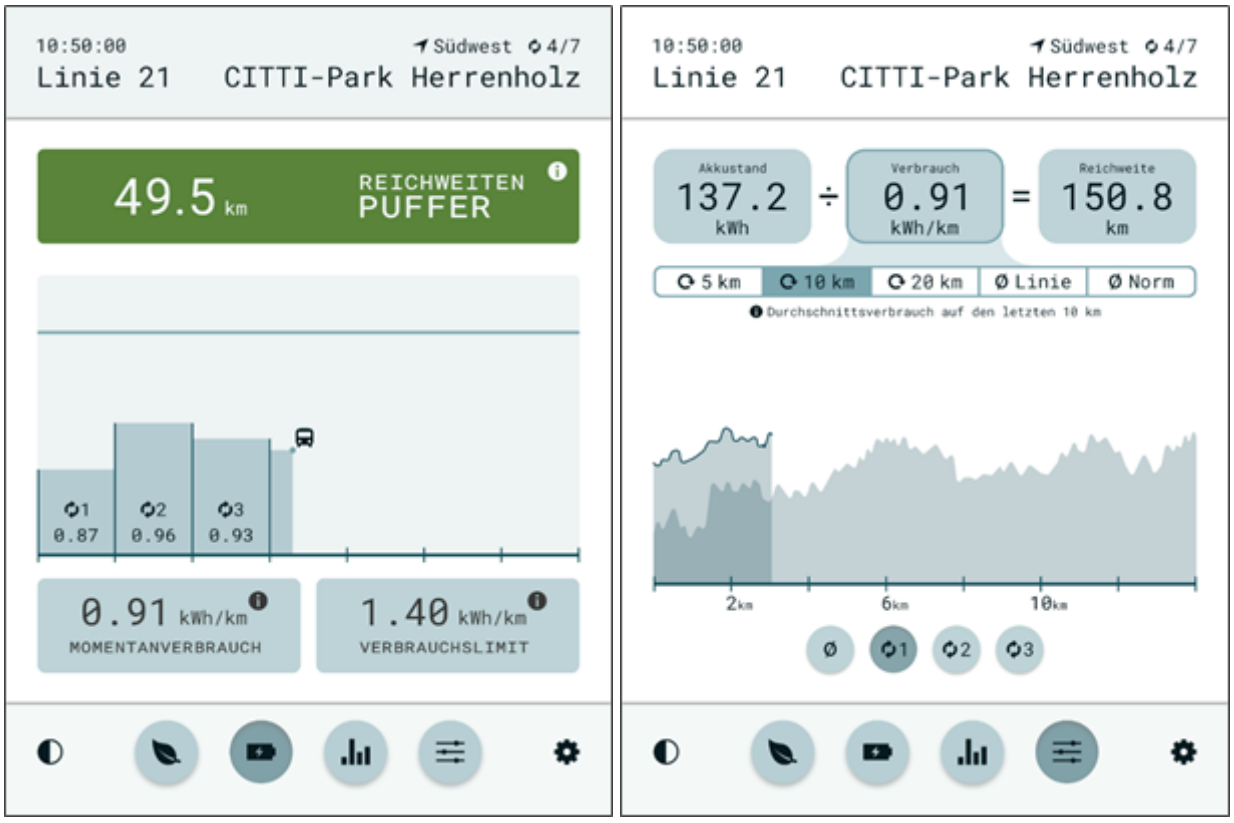

Negativ fällt auf, dass das Designkonzept klare Orientierungslinien vermissen lässt, was die Darstellung unübersichtlich und unruhig wirken lässt. Es gibt viele verschiedene Elemente und Ausrichtungen, welche die kognitive Verarbeitung erschweren. Zudem ist auch hier die hohe Komplexität möglicherweise nicht dem Nutzungskontext angemessen.

In einer dritten Iteration wurden diese Mängel adressiert und eine klarere Struktur geschaffen. Auch die Auswahl der Komponenten wurden nochmals überarbeitet. Die erste von zwei Anzeigen enthält einen Reichweitenpuffer sowie eine Verbrauchsanzeige, die aus einem Balkendiagramm zu den Verbräuchen

auf Linienfahrten und zwei weiteren Indikatoren – dem Momentanverbrauch und dem Verbrauchspuffer (siehe Abbildung 8, links). Der Reichweitenpuffer wird hier als Zahl auf farbigem Hintergrund dargestellt. Solange sich der Reichweitenpuffer über einer definierten kritischen Grenze befindet, ist der Hintergrund grün. Fällt er darunter, wechselt der Hintergrund zu Rot, um den kritischen Zustand hervorzuheben.

**Abbildung 8**

*Konzepte der ersten Anzeige*




*Hinweis.* Konzept der 1. Anzeige (links) mit Reichweitenpuffer und Verbrauchsanzeige und 2. Anzeige (rechts) mit Reichweitenberechnung und Verbrauchsprofil.

Das Balkendiagramm stellt den Durchschnittsverbrauch pro Linienfahrt grafisch dar. Der Balken der aktuellen Fahrt wächst dynamisch von links nach rechts (entsprechend des Fahrtverlaufs). Das Bus-Symbol zeigt an, dass sich das Fahrzeug gerade an diesem Punkt befindet. Die Höhe des aktuellen Balkens spiegelt den Momentanverbrauch wider, der als Indikator unten links angegeben ist. Dies ist der Durchschnittsverbrauch auf der aktuellen Linienfahrt (bis zum aktuellen Zeitpunkt). Im Diagramm ist der Verbrauchspuffer – also der Verbrauch, der mit der aktuellen Akkuladung und Restumlaufstrecke maximal zur Verfügung steht – als Markierungslinie eingeblendet.

Anzeige 2 besteht aus einem Element zur Reichweitenberechnung sowie dem Verbrauchsprofil. Zur Anpassung des Referenzverbrauchs stehen fünf Optionen zur Verfügung. Sie wurden als potenziell wichtige Varianten definiert; andere Referenzen schließt das jedoch nicht aus. Die Berechnung der Reichweite wird klar herausgestellt: Akkuladung dividiert durch Verbrauch ergibt Reichweite. Im Verbrauchsprofil können die Daten einzelner Linienfahrten an- und abgeschaltet werden. Die

Verbrauchswerte der aktuellen Linienfahrt werden als von links nach rechts wachsende Kurve dargestellt.

Die letzte Iteration der Entwicklungslinie transparente Reichweitenvisualisierung wurde im Rahmen einer Nutzer:innen-Studie evaluiert. Die zentrale Frage der empirische Studie war, ob die Anpassbarkeit der Reichweitenberechnung (durch Auswahl des Referenzverbrauchs) und/oder die Transparenz der Reichweitenberechnung (durch die Darstellung des Berechnungsweges) das Vertrauen in die Reichweitenanzeige und die komfortable Reichweite steigern können. Daraus lassen sich zwei Hypothesen für die Evaluation ableiten:
Hypothese 1 (H1): Eine transparente Darstellung der Reichweitenberechnung hat einen signifikanten positiven Effekt auf das subjektive Vertrauen in die Reichweitenangabe und die komfortable Reichweite im Vergleich zu einer Reichweitenangabe, deren Berechnung nicht erkennbar ist.

Hypothese 2 (H2): Die Möglichkeit, die Reichweitenberechnung anzupassen, hat einen signifikanten positiven Effekt auf das subjektive Vertrauen in die Reichweitenangabe und die komfortable Reichweite im Vergleich zu einer nicht anpassbaren Reichweitenangabe.

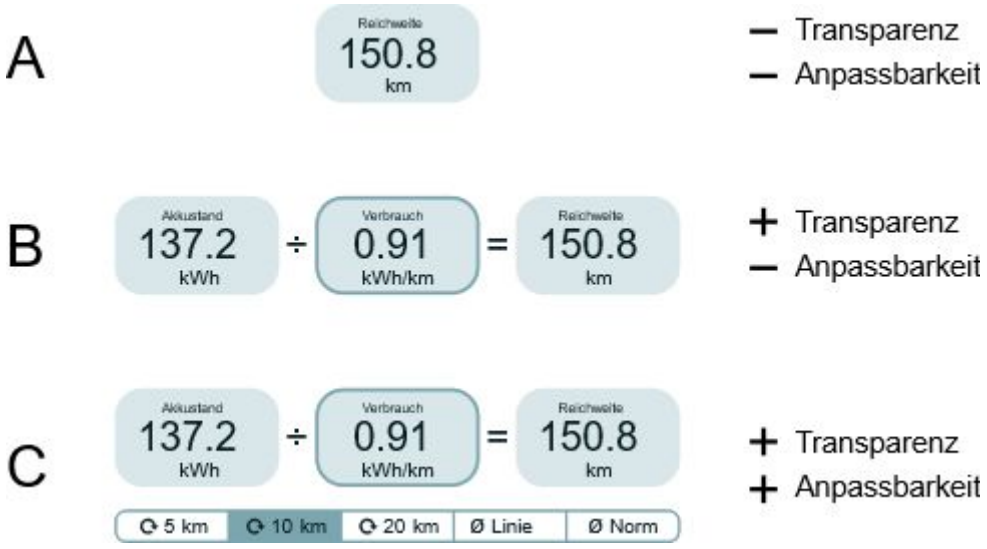
Die Nutzer:innen-Studie wurde als Teil einer umfassenderen Online-Evaluierung des Projekts als Online-Fragebogen für Fahrer:innen von Elektroautos konzipiert, die über fünf elektromobilitätsbezogene Facebook-Gruppen und fünf Foren akquiriert wurden.

Zur Überprüfung der H1 und H2 wurden die drei Darstellungsvarianten (Abbildung 9) im Within-Subject-Design getestet (Charness et al., 2012). Um Sequenzeffekte zu minimieren, wurden die Varianten nach dem Zufallsprinzip dargestellt (Eid et al., 2013). Anzeige A war eine numerische Angabe des Bereichs ohne weitere Informationen. Anzeige B enthielt zusätzliche Informationen für die Reichweitenberechnung, wodurch die Reichweiteninformation transparenter wurde. Die Anzeige C schließlich bot die Möglichkeit, die Berechnung zu beeinflussen und den Referenzverbrauch auszuwählen (siehe Abbildung 9). Alle drei Anzeigekonzepte wurden zunächst in einem Video erläutert. Die abhängigen Variablen Vertrauen wurde mit der FOST-Skala mit 10 Items und die komfortable Reichweite über zwei zusätzliche Items erfasst, die in diesem Zusammenhang bereits in einer anderen Studie verwendet worden waren (Franke et al., 2015a; Franke et al., 2015b). Für diese Auswertung wurde eine MANOVA mit Messwiederholung durchgeführt ("doubly-multivariate analysis of variance with repeated measures"). Im Falle der Verletzung der Sphärizität wurde eine Greenhouse-Geissner-Korrektur durchgeführt. Für alle Alphafehler-Level der Post-hoc-Tests wurde eine Bonferroni-Korrektur auf der Grundlage der Anzahl der durchgeführten Tests durchgeführt (Field et al., 2012).

Die Stichprobe der Teilnehmer:innen, die bereits batterieelektrische Fahrerfahrung hatten waren 46 Elektroautofahrer:innen (44 männlich; Alter: $M$ = 46 Jahre, $SD$ = 13). Ein multivariater Ausreißer wurde identifiziert und aus der Studie ausgeschlossen. Die Boxplots der abhängigen Variablen (AV) pro Bedingung sind in (Abbildung 10) dargestellt. Der multivariate within-subject Effekt war signifikant und stark ($F(4, 41) = 9.52$, $p < .001$, *Wilk's* $\Lambda = 0.672$, $\eta^2_p = .18$), so dass wir dann eine univariate ANOVA für jede AV einschließlich der Kontraste innerhalb der Versuchspersonen durchführten (Post-hoc-Tests). In beiden ANOVAs wurde die Sphärizitäts-Voraussetzung verletzt, so dass im Folgenden die nach Greenhouse-Geissner korrigierten Werte wiedergegeben werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das berichtete Vertrauen für jede Reichweitenagabe signifikant unterscheidet, $F(1.59, 69.82) = 16.28$, $p < .001$, $\eta^2_p = .27$, sowie die komfortable Reichweite für jeden Reichweitenangabe, $F(1.51, 66.49) = 18.19$, $p < .001$, $\eta^2_p = .29$. Von allen verglichenen Mittelwertsunterschieden war nur der mittlere Unterschied des Vertrauens in die Reichweitenangaben A und B statistisch nicht signifikant ($p = .139$).

**Abbildung 9**

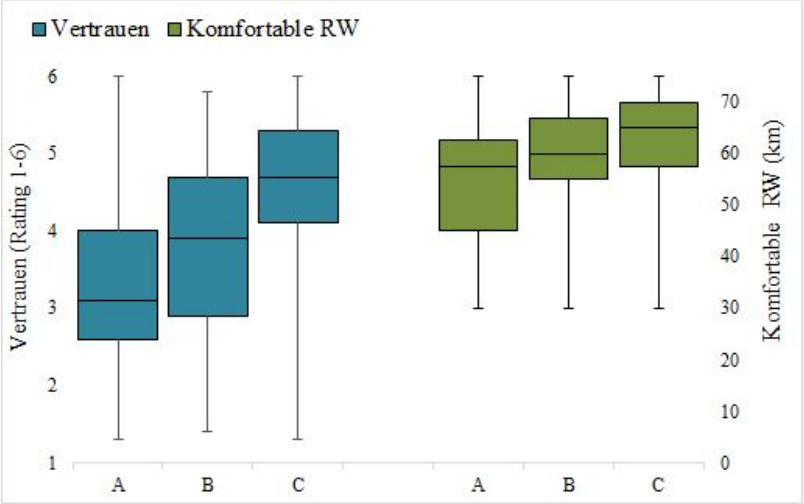
*Überprüfung der Darstellung zur Reichenweiteninformation*




Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Hypothesen. Sowohl eine transparente Gestaltung der Reichweitenberechnung (H1) als auch die Möglichkeit, die Berechnung anzupassen (H2), führen zu einem höheren Systemvertrauen als auch zu einer höheren komfortablen Reichweite der Fahrer:innen. Das Vertrauen in die Reichweitenangabe kann durch Anpassbarkeit und Transparenz der Berechnung der Reichweitendarstellung signifikant erhöht werden.

**Abbildung 10**

*Boxplots der abhängigen Variablen pro Bedingung*




Es gibt jedoch auch Einschränkungen, die an dieser Stelle nicht vernachlässigt werden sollen. Zum einen wurde die Studie mit Elektroautofahrer:innen durchgeführt. Die Ergebnisse sollten weitestgehend auf den Kontext Elektrobus im ÖPNV übertragbar sein, was es jedoch in jedem Fall nochmals zu bestätigen gilt. Weiter stellt die Stichprobengröße mit $N$ = 46 sicherlich eine solide Basis dar, in größer angelegten Studien sollten die Erkenntnisse jedoch nochmals überprüft werden.

### Heuristiken & Metaphern

Eine heuristische Bewertung der Reichweite bietet einen vielversprechenden Ansatz: der Fokus auf wenige relevante Faktoren könnte zum einen die Ambiguität der dargestellten Informationen verringern. Zum anderen deutet Vieles darauf hin, dass die Reichweitenbewertung mit hoher kognitiver Belastung einhergeht (Gödker et al., 2018) und unter starkem Zeitdruck geleistet werden muss. Eine handlungsintegrierte Unterstützung durch ein Interface sollte daher effizient mit kognitiven und zeitlichen Ressourcen umgehen. Eine Heuristik könnte dabei die Möglichkeit bieten, eben diesen Ressourcenaufwand durch das Ignorieren eines Teils der Informationen bei der Bewertung der Reichweite zu reduzieren.

Bei der Entwicklung von Konzepten für diese Visualisierung soll insbesondere die Übersichtlichkeit der dargestellten Informationen berücksichtigt werden, um die einfache und effiziente Reichweitenbewertung durch die zugrundeliegende Heuristik zu unterstützen. Des Weiteren bietet die Darstellung heuristischer Bewertungen die Chance, die unmittelbare Erfahrbarkeit der Reichweite in Elektrobussen zu erhöhen. In Kombination mit alltagsnahen, anschaulichen und motivational ansprechenden Visualisierungen könnte der abstrakte Begriff der Reichweite im Handlungskontext direkt erfahrbar gemacht werden. Eine Methode, die sich zur Umsetzung solcher Visualisierungen anbietet, ist das in anderen Bereichen der Mensch-Computer-Interaktion etablierte Konzept der Interface-Metapher, welche eine Analogie verwendet, um vorhandenes Wissen in einem unbekannteren Kontext nutzbar zu machen und sich darüber hinaus motivational und affektiv auf die Nutzer:innen auswirkt (Carroll et al., 1988).

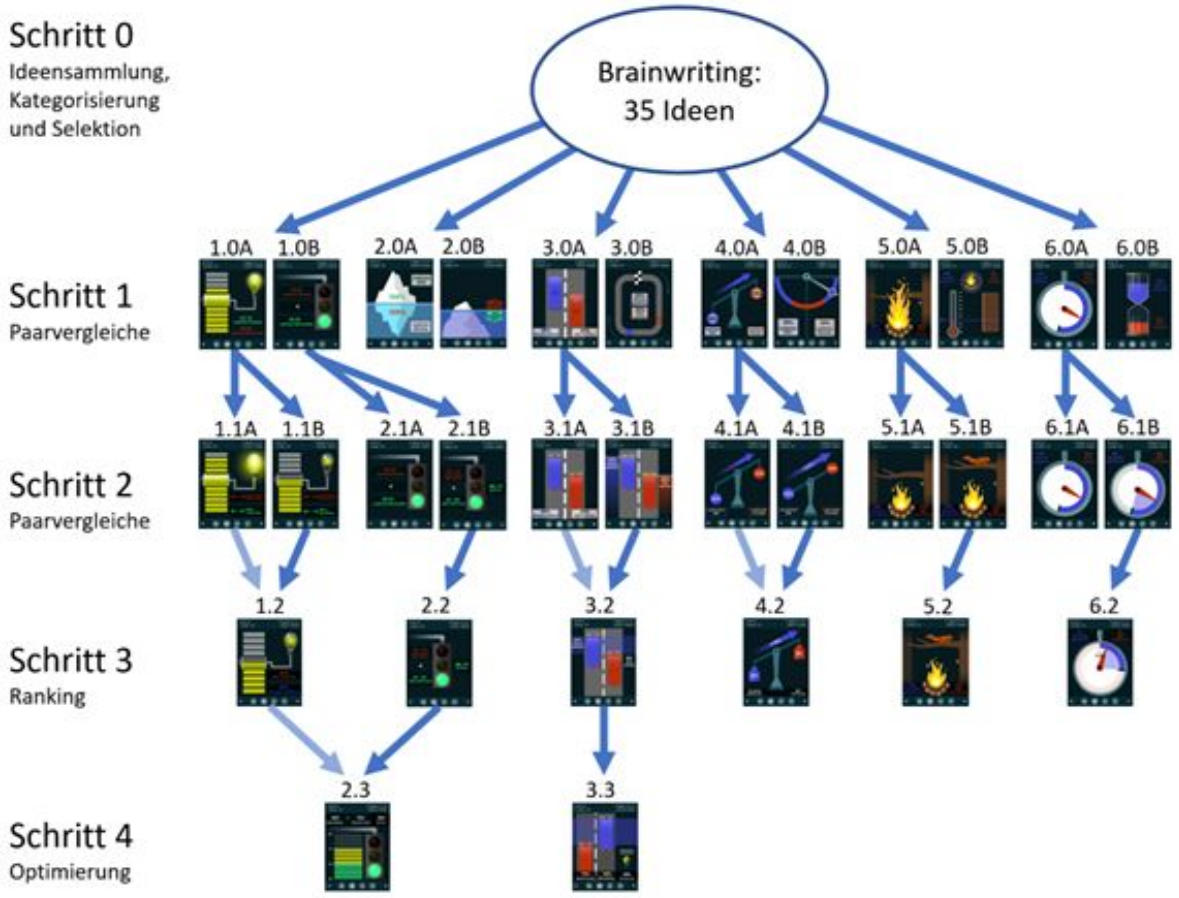
Die Konzeption orientiert sich an der Methode des Parallel Design nach Nielsen und Faber (1996), um die effiziente Entwicklung von Konzepten zu gewährleisten und eine umfassende Betrachtung vielfältiger Ansätze zu ermöglichen. Der Verlauf der Konzeption ist in Abbildung 11 dargestellt und besteht aus fünf Schritten, welche im Folgenden beschrieben werden.

Als Ergebnis einer Fokusgruppe sowie auf Basis der Literaturrecherche entstanden 35 Grundideen zu Metaphern, welche eine Visualisierung der erarbeiteten Heuristiken und somit die Darstellung von Energiezuständen und -dynamiken im Elektrobus (Mobilitätsressourcen) im Vergleich mit Annäherungs- und Vermeidungszielen der Umwelt (Mobilitätsanforderungen) ermöglichen können. Diese 35 Metaphern wurden anschließen ausgehend von der Ähnlichkeit ihrer Quelldomäne kategorisiert. Es ergaben sich sechs besonders vielversprechende Kandidatenmetaphern, die als Grundlage für die weiterführende Entwicklung von Interface-Konzepten dienen. In Tabelle 7 sind diese jeweils zusammen mit möglichen Ansätzen zu Framing und (perceived) Affordances aufgelistet.

In der ersten Iteration des Konzeptionsprozesses wurden sechs verschiedene Interface-Konzepte mit jeweils zwei unterschiedlichen Versionen entwickelt und evaluiert. Diese wurden bewusst mit hoher Diversität gestaltet, wobei verschiedene Ansätze für die Darstellung sowie unterschiedliche Heuristiken beispielhaft für die Reichweitenbewertung genutzt wurden. Die in den Abbildungen explizit dargestellten Zahlenwerte von Mobilitätsressource und Mobilitätsanforderung sowie deren Umsetzung in graphischen Elementen sind lediglich als hypothetische Beispielwerte zu verstehen. Alle vorgestellten Konzepte bieten die Möglichkeit durch die Kalibrierung von Schwellen- und Skalierungswerten an unterschiedliche Energie- und Streckensituationen angepasst zu werden.

**Abbildung 11**

*Verlauf der Konzeption*




*Hinweis.* Die Darstellung orientiert orientiert am Parallel Design nach Nielsen und Faber (1996).

**Tabelle 7**

*Die sechs Kandidatenmetaphern mit möglichen Ansätzen zu Framing und Affordances*

| Metapher | Mögliche Framings | Mögliche Affordances |
|---|---|---|
| Licht(-signal) | Licht (Energie/Orientierung) / richtiges Signal = genug Energie<br>Kein Licht / falsches Signal = nicht genug Energie | Wenn Licht brennt ist die Situation unkritisch.<br>Wenn das Licht ausgeht, sind Anpassungen notwendig |
| Eisberg | Eis schmilzt = Ressource wird verbraucht<br>Meeresspiegel = Anforderung/Schwellenwert | Eisschmelzen minimieren<br>niedrigen Meeresspiegel erreichen |
| Wettrennen | Ich liege vorne = genug Energie<br>Ich liege hinten = nicht genug Energie<br>Vorsprung = Puffer | Wettrennen gewinnen<br>Den Vorsprung möglichst groß halten |
| Balance | Gleichgewicht = genug Energie<br>Ungleichgewicht = nicht genug Energie | Balance halten<br>Schieflage vermeiden |
| (Lager-)<br>Feuer | Licht/Hitze = Verbrauch/verlorene Energie<br>Holz/Brennstoff = Ressource | Feuer darf nicht ausgehen<br>nicht zu groß bzw. gefährlich werden |
| Uhr | Zeit = Ressource<br>Bestimmter Zeitpunkt = Anforderung /Schwellenwert | Innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls bleiben |

Das Konzept Licht (Glühlampe) kombiniert zwei Metaphern innerhalb einer Anzeige (Abbildung 12). Zum einen wird die binäre Reichweitenbewertung der Heuristik durch die Darstellung als Zustand einer Glühlampe, in ein alltagsnahes Framing umgesetzt. Zusätzlich wird der Schwellenwert durch ein Batteriesymbol dargestellt. Die verwendete Metapher ist die eines Batterietesters, welcher den Füllstand einer Batterie (in diesem Fall den Pufferwert) anzeigt. Die Anzeige soll einen Aufforderungscharakter (perceived affordance) besitzen, die Glühlampe möglichst permanent am Leuchten zu halten (Licht = Orientierung, Sicherheit).

**Abbildung 12**

*Interface - Konzept A zur Metapher "Licht(-signal)"*

Das Konzept B zu Metapher "Licht(-signal)" (Abbildung 13) nutzt die alltagsnahe Metapher einer Verkehrsampel, ähnlich dem in Abbildung 7 dargestellten entwickelten Konzept. Das Ergebnis des heuristischen Vergleichs wird hier durch die drei unterschiedlichen Signale der Verkehrsampel "geframed". Grün signalisiert, dass die Energie zur Bewältigung der Fahrtstrecke ausreicht und ein hoher Pufferwert vorhanden ist. Gelb signalisiert, dass ein bestimmter Pufferwert (z.B. 10%) unterschritten wurde. Rot signalisiert, dass die verfügbare Energie nicht ausreicht, um die Fahrstrecke zu bewältigen.

**Abbildung 13**

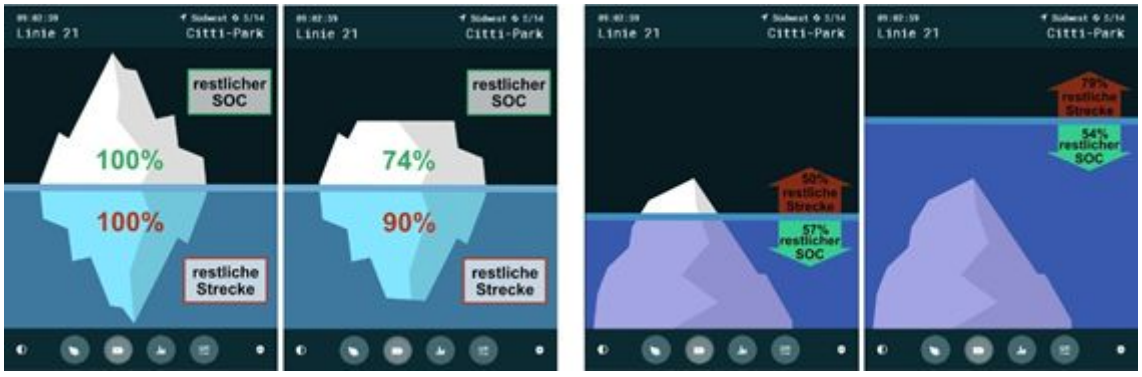
*Interface - Konzept B zur Metapher "Licht(-signal)"*

Das folgende Konzept (Abbildung 14, links) nutzt die Natur-Metapher eines schwimmenden Eisbergs, von dem ein Teil über und der andere unter dem Wasserspiegel liegt. Ersterer stellt die Mobilitätsressource, letzterer die Mobilitätsanforderung dar. Durch das angewandte Framing “schmelzen” die beiden Teile des Eisbergs im Laufe der Fahrt (Schmelzen = Ressource wird verbraucht bzw. Anforderung wird im Laufe der Fahrt weniger). Ziel ist es hierbei, dass die Ressource nicht schneller schmilzt als die Anforderung. Der Größenvergleich beider Teile des Eisbergs entspricht hier dem heuristischen Vergleich von Ressource und Anforderung.

In einer Variante (Abbildung 14, rechts) wird die Eisberg-Metapher durch einen steigenden und sinkenden Meeresspiegel erweitert. Für das Framing des heuristischen Vergleichs wird hier die Mobilitätsressource durch den Eisberg und Mobilitätsanforderung durch den Wasserspiegel repräsentiert. Die angestrebte perceived Affordance ist hierbei den Eisberg möglichst weit und lange über Wasser zu halten.

**Abbildung 14**

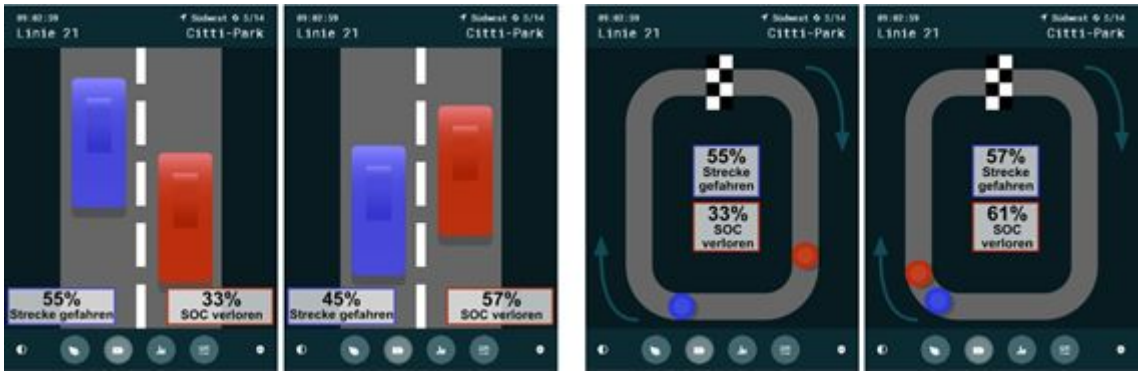
*Interface - Konzept zur Metapher “Eisberg”*




Die nächste Metapher setzt am stärksten auf die Anwendung von Gamification. Daher wurde in diesem Konzept (Abbildung 15, links) ein motivationales Framing eingesetzt. Mobilitätsressource und Mobilitätsanforderung werden hier durch zwei Busse dargestellt, die “Kopf-an-Kopf” um die Wette fahren. Die Mobilitätsanforderung wird dabei als Gegner-Figur (roter Bus) personifiziert bzw. anthropomorphisiert.

**Abbildung 15**

*Interface - Konzept zur Metapher “Wettrennen”*



Der Abstand beider Busse gibt das Ausmaß des Unterschieds von Mobilitätsressource und Mobilitätsanforderung (also den Pufferwert) an. Perceived Affordances, welche über dieses Wettrennen suggeriert werden sollen, sind zum einen generell mit dem blauen Bus vorn zu liegen (positive Bewertung durch die Heuristik) und zum anderen den Vorsprung des blauen zum roten Bus (Pufferwert) zu maximieren.

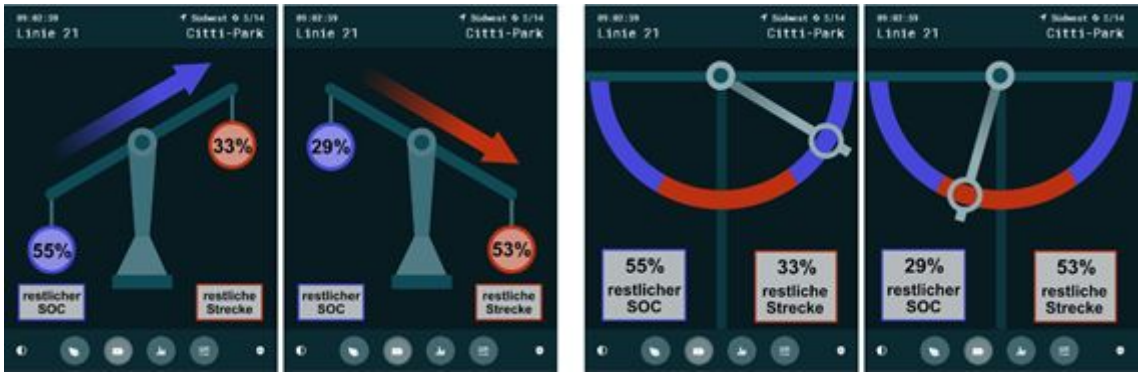
Eine Alternative: das Wettrennen über die Position auf einer Rennstrecke repräsentieren, welche die zu fahrende Tagesstrecke darstellt (Abbildung 15, rechts). Dadurch, dass entweder der blaue oder der rote Marker im Rundenverlauf vorn liegt, wird der heuristische Vergleich von Mobilitätsressource und Mobilitätsanforderung dargestellt (Blau führt = positiv, Rot führt = negativ).

Das Konzept der Waage (Abbildung 16, links) nutzt die Quelldomäne einer traditionellen Waage, welche den Ver- und Ausgleich von zwei Gewichten ermöglicht. Durch die Abbildung auf die Zieldomäne werden die beiden Gewichte durch die Parameter der jeweiligen Heuristik ersetzt. Somit zeigt die Neigung der Waage das Ergebnis des Vergleichs von Ressource und Anforderung an. Dieses Konzept versucht eine perceived Affordance in Form einer geeigneten Balance zwischen Ressource und Anforderung zu vermitteln.

Das in Abbildung 16 (rechts) dargestellte Konzept verwendet die Quelldomäne eines ausbalancierten Pendels. Durch das hier angewandte Framing wird die verfügbare Energie in Bewegungsenergie des Pendels umgesetzt. Der Schwungbereich des Pendels stellt somit die Mobilitätsressource dar. Der rote Bereich markiert den Wert der Mobilitätsanforderung. Dieses Konzept versucht eine perceived Affordance der Schwungmaximierung zu erreichen.

**Abbildung 16**

*Interface - Konzept zur Metapher "Balance"*



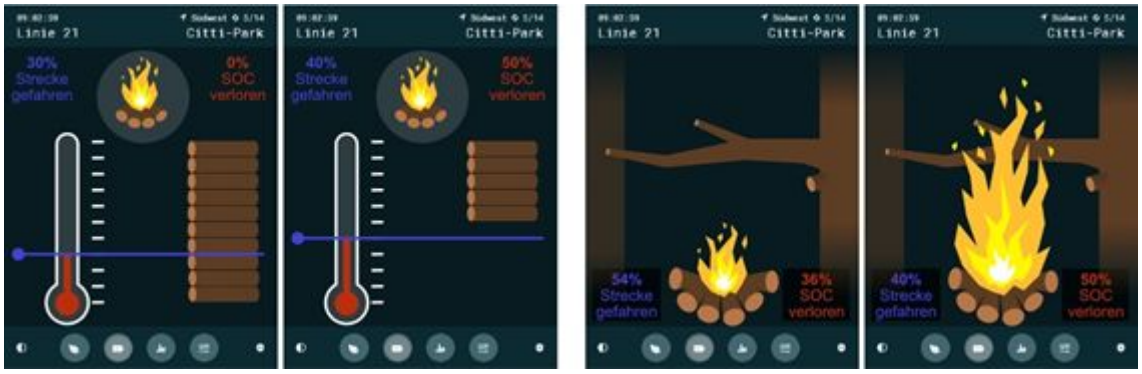

Im folgenden Konzept (Abbildung 17, links) wird das Hüten eines Lagerfeuers als Quelldomäne für die Abbildung auf die Zieldomäne der Reichweitenbewertung genutzt. Hierbei wird ein Einheiten-Framing für die beiden Parameter der Heuristik umgesetzt. Die Mobilitätsressource wird dabei als "physische" Ressource Holz dargestellt, die zu erreichende Mobilitätsanforderung wird als Temperaturwert auf einem Thermometer angezeigt. In diesem Konzept wird eine perceived affordance, im Sinne einer Aufforderung möglichst sparsam mit der Energieressource (Mobilitätsressource) umzugehen, angestrebt.

In Anlehnung nutzt das zweite Konzept (Abbildung 17, rechts) das natürliche Phänomen des Feuers für die Vermittlung folgender perceived affordances. Das Feuer darf nicht zu groß werden, damit es keine Gefahr darstellt. Ebenso darf es nicht ausgehen, damit Wärme und Licht erhalten bleiben. Die Größe des

Feuers stellt hierbei das Framing für die Kritikalität der Reichweitenbewertung dar. Je höher das Feuer brennt, desto niedriger ist der Pufferwert. Der Ast über dem Feuer stellt den Schwellenwert der Heuristik dar.

**Abbildung 17**

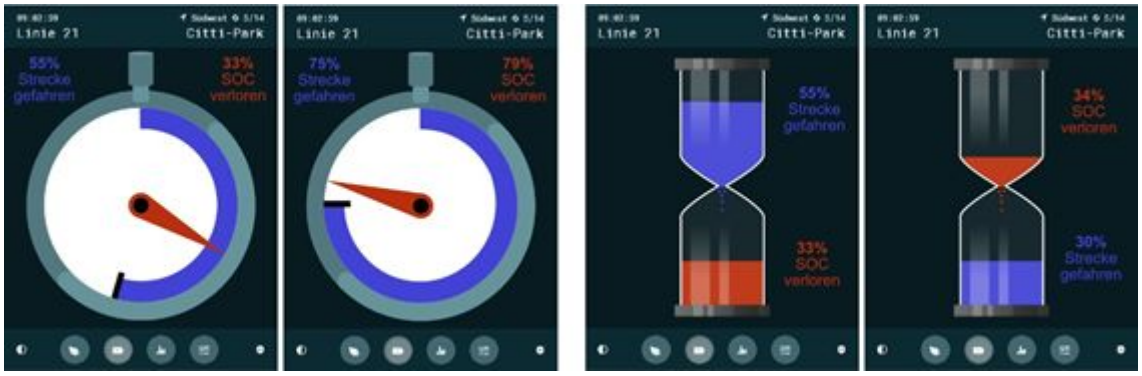
*Interface - Konzept zur Metapher "Lagerfeuer"*




Dieses letzte Konzept (Abbildung 18, links) verwendet die Metapher einer analogen Stoppuhr und nutzt somit die Darstellung von Zeit auf einem Ziffernblatt als alltagsnahe Quelldomäne. Das genutzte Einheiten-Framing stellt die Werte beider Parameter in der Form gemessener Zeitintervalle dar. Ein Umlauf des Zifferblatts entspricht der Tagesstrecke des Busses. Auf dieser darf eine gewisse Zeitmarke nicht überschritten werden. Der Abstand zwischen Zeiger und Intervallgrenze zeigt somit den aktuellen Pufferwert an. Ähnlich zu der Wettrennen-Metapher wird hier in Ansätzen Gamification verwendet, um ein klares Ziel zu vermitteln und zu dessen Erfüllung zu motivieren (Unterbieten der durch die Mobilitätsanforderung vorgegebenen Zeitmarke).

**Abbildung 18**

*Interface - Konzept zur Metapher "Uhr"*




Eine Abwandlung (Abbildung 18, rechts) nutzt die verbreitete Metapher einer Sanduhr, um mittels Framing durch den rieselnden Sand schwindende Pufferwerte darzustellen (Schwerkraft als alltägliches Naturphänomen). Der Sand oben in der Sanduhr stellt dar, wie weit der Wert eines Parameters über dem

des anderen Parameters liegt (positiver und negativer Puffer). Der blaue Sand stellt einen positiven, der rote Sand einen negativen Pufferwert dar. Ist die Seite mit dem blauen Sand oben (links), genügt die verfügbare Energie zur Bewältigung der Fahrstrecke. Dabei steht der blaue Sand für den vorhandenen Puffer der Mobilitätsressource. Ist der Puffer aufgebraucht (der blaue Sand leer), dreht sich die Sanduhr um. Ist nun die Seite mit dem roten Sand oben (rechts), so reicht die Energie unter den derzeitigen Umständen nicht aus, um die Fahrtstrecke zu bewältigen. Analog stellt der rote Sand den negativen Puffer durch die Mobilitätsanforderung dar. Ist dieser aufgebraucht dreht sich die Sanduhr erneut usw.

Anhand dreier kleiner Zwischenevaluationen mit einer Fokusgruppe aus Expert:innen sollten größere Fehler oder Unstimmigkeiten identifiziert und anschließend korrigiert werden. Nach jeder Zwischenevaluation wurden die besten Konzepte auf Grundlage des Feedbacks weiterentwickelt, die anderen Konzepte fallen gelassen. Am Ende standen zwei finale Konzepte für die metapherbasierte heuristische Reichweitenangabe:

Das Konzept “Reichweitenampel” (Abbildung 19) integriert die Metapher des Batterietesters in das zuvor entwickelte Ampelkonzept. Erstere wurde analog zu den drei Signalen der Ampel in ein rotes, ein gelbes und ein grünes Segment unterteilt und stellt wie zuvor den aktuellen Pufferwert dar. Auf der linken Seite wurde eine Skala zum Ablesen der Pufferwerte hinzugefügt. Der Schwellenwert der Heuristik ist durch einen weißen Strich markiert. Die Füllstände der Segmente sollen Aufschluss über das Umschaltverhalten der Ampel geben. Sobald das grüne Segment leer ist schaltet die Ampel von Grün auf Gelb, sobald das gelbe Segment leer ist schaltet die Ampel von Gelb auf Rot. Steht die Ampel auf Rot, gibt der Füllstand des roten Segments das Ausmaß des negativen Puffers an.

Da eine vertikale Darstellung der Formel der Heuristik in der Evaluation als ungewohnt und schwer zu lesen angesehen wurde, ist sie in diesem Konzept horizontal dargestellt. Der Pufferwert wird visuell abgegrenzt, indem er rechts daneben angezeigt wird.

**Abbildung 19**

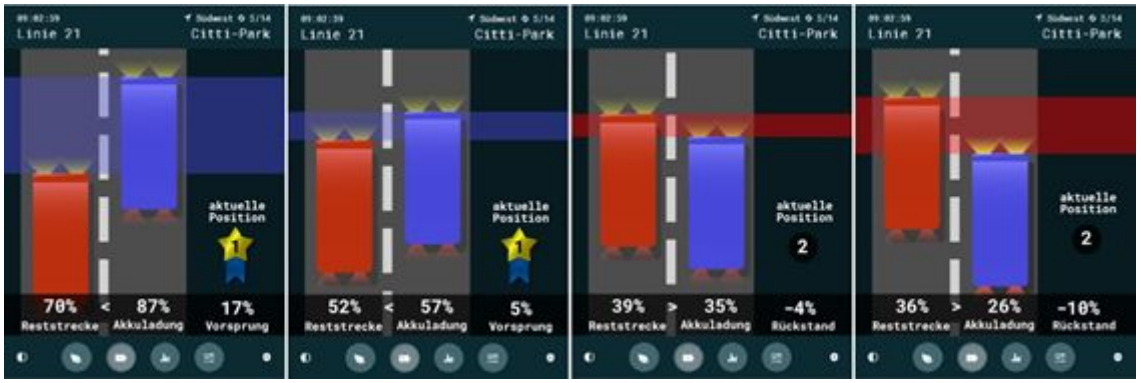
*Finales Interface - Konzept “Die Reichweitenampel”, zur Metapher “Licht(-Signal)”*

Bei der Überarbeitung des Konzeptes “Reichweitenrennen” wurde insbesondere auf die unmittelbare Erkennbarkeit der binären Reichweitenbewertung im Zusammenspiel mit weiteren Möglichkeiten des verwendeten Gamification-Ansatzes geachtet (Abbildung 20). Auf dieser Grundlage wurde ein weiterer Indikator hinzugefügt, welcher die binäre Reichweitenbewertung (Ja oder Nein) auf die verwendete Metapher überträgt. So wird auf der rechten Seite die aktuelle Position (erste oder zweite) des blauen Busses (Mobilitätsressource) im Rennen angezeigt. Unter Nutzung des Gamification-Ansatzes wird

dabei die erste Position durch eine Siegermedaille dargestellt. Im Einklang mit der verwendeten Metapher hat der:die Nutzer:in also die “Aussicht” auf die Siegestrophäe, sofern die Reichweitenbewertung positiv ausfällt. Die zweite Position wird lediglich als Zahl dargestellt. Um inhaltliche Konsistenz zu erreichen, sind die jeweiligen Parameter der Heuristik am unteren Rand der Fahrspur des korrespondierenden Busses angezeigt. Auch in diesem Konzept ist die Formel der Heuristik horizontal dargestellt. Der Pufferwert wird visuell abgegrenzt rechts daneben angezeigt.

**Abbildung 20**

*Finales Interface - Konzept “Das Reichweitenrennen”, zur Metapher “Wettrennen”*




Die Evaluation der Konzepte “Heuristiken & Metaphern” untersucht die beiden entwickelten finalen Visualisierungskonzepte hinsichtlich der beiden zentralen Aspekte, Übersichtlichkeit und unmittelbare Erfahrbarkeit. Das primäre Ziel der Evaluation ist somit die Beantwortung der Forschungsfrage “Wie kann die heuristische Bewertung der Reichweitensituation übersichtlich und möglichst unmittelbar erfahrbar handlungsintegriert visualisiert werden?” Die Erfahrbarkeit wird dabei in zwei Aspekte unterschieden. Zum einen ist dies die Übertragbarkeit der Visualisierung auf Energiesituation und -dynamiken des Elektrobusses, also das Ermöglichen eines Bewusstseins über diese beiden Aspekte (Energy Dynamics Awareness; siehe Abschnitt 3.2), zum anderen die Motivation dafür, die jeweilige Visualisierung zur Reichweitenbewertung zu nutzen.

Die beiden finalen Interface-Konzepte sind aktuell die einzigen Konzepte zur Visualisierung heuristischer Reichweitenbewertungen. Zusätzlich wurden sie unter der spezifischen Zielsetzung der Übersichtlichkeit und unmittelbaren Erfahrbarkeit entwickelt. Unter bestehenden Reichweitenanzeigen gibt es daher kein Konzept, dass sich als Baseline-Konzept für einen sinnvollen Vergleich heranziehen lässt. Es wurde kein Baseline-Konzept eigens für den Kontext dieser Evaluation zu konstruiert, da dies keinen fairen Vergleich ermöglichen würde. Aus diesen Gründen werden die beiden finalen Konzepte untereinander verglichen. Diese werden im Folgenden als Konzept A (“Reichweitenampel”) und Konzept B (“Reichweitenrennen”) bezeichnet.

Ausgehend von der Verwendung unterschiedlicher Metapher-Ansätze (A: Gebot/Verbot, B: Gamification) lassen sich für die Evaluation zwei Hypothesen[1] ableiten:

H1: Konzept A hat im Vergleich zu Konzept B einen signifikant höheren positiven Effekt auf die Übersichtlichkeit der Visualisierung der heuristischen Reichweitenbewertung.

H2: Konzept B hat im Vergleich zu Konzept A einen signifikant höheren positiven Effekt auf die intrinsische Motivation zur Nutzung für die Reichweitenbewertung.

In beiden Hypothesen stellt die Wahl des jeweiligen Konzepts die unabhängige Variable (UV) dar und steht für die Verwendung unterschiedlicher Interface-Metaphern (Ampel vs. Wettrennen). Hypothese H1 arbeitet mit Übersichtlichkeit als abhängige Variable (AV), die Hypothese H2 hingegen mit intrinsischer Motivation.

Da beide Konzepte zum Erreichen der Energy Dynamics Awareness auf die Nutzung von Metaphern mit alltagsnahen Quelldomänen setzen, wurde keine Hypothese bezüglich des Unterschieds dieser Variable zwischen den zwei Konzepten formuliert. Dennoch soll die Energy Dynamics Awareness als abhängige Variable (AV) unter Veränderung der unabhängigen Variable (UV, Wahl des jeweiligen Konzepts) explorativ gemessen werden (siehe Abschnitt 3.2.). Aus denselben Gründen wurde keine Hypothese bezüglich der extrinsischen Motivation formuliert, welche analog als vierte abhängige Variable (AV) gemessen wird.

Die Nutzer:innen-Studie wurde als Teil des in Abschnitt 1.2. beschriebenen Vorgehens durchgeführt. Hierfür wurde ein Fragebogen bestehend aus den drei Skalen Übersichtlichkeit, Energy Dynamics Awareness und Motivation entwickelt. Die Skala Übersichtlichkeit, LCY (Lucidity) basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche zur Definition dieses sowie verwandter Begriffe im Kontext der der Mensch-Technik-Interaktion. Die Energy Dynamics Awareness Scale wurde von Mitgliedern der NuR.E-Forschungsgruppe entwickelt. Die zweiteilige Skala Motivation wurde von Davis et al. (1992) adaptiert, indem sie übersetzt und leicht an den Anwendungskontext angepasst wurde. Basierend auf dem Technology Acceptance Model, TAM (Davis, 1985) werden durch die beiden Subskalen perceived Usefulness, USF (extrinsisch) und perceived Enjoyment, ENJ (intrinsisch) zwei zentrale Determinanten für die Motivation zur Nutzung technischer Systeme erfasst.

Die Hypothesen H1 und H2 wurden durch einen A/B-Test adressiert und im Within-Subject-Design (Charness et al., 2012) getestet. Dafür wurden zwei animierte Videoprototypen erstellt, welche das Verhalten der beiden unterschiedlichen Konzepte bei der Visualisierung der gleichen Fahrdaten anzeigen.

Insgesamt nahmen 42 Busfahrer:innen (2 Frauen, 40 Männer) an der Studie Teil. Vier Proband:innen besaßen keine Erfahrung im Fahren von Elektrobussen und wurden daher nicht berücksichtigt. Die verbliebenen Proband:innen waren bereits durchschnittlich 27.56 Stunden mit einem Elektrobus gefahren (Min = 4; Max = 88; *SD* = 21.96) und hatten ein Durchschnittsalter von 50.1 Jahren (Min = 27; Max = 62; *SD* = 9.3).

Bei einer ersten Betrachtung der deskriptiven Werte (Tabelle 8) fällt auf, dass Konzept A hinsichtlich aller Variablen eine höhere durchschnittliche Bewertung erzielt als Konzept B. Dies spricht gegen die Hypothese H2, da die Variable perceived Enjoyment als Determinante für intrinsische Motivation bei Konzept B niedriger als bei Konzept A eingeschätzt wurde. Die Ergebnisse zur Übersichtlichkeit zeigen hingegen durch die deutlich höhere durchschnittliche Bewertung von Konzept A ($M_{KA}$ = 4.94) gegenüber Konzept B ($M_{KB}$ = 4.32) ein ähnliches Bild zu jenem, welches in Hypothese H1 formuliert wurde. Die Ergebnisse weisen ebenfalls auf eine Überlegenheit von Konzept A hinsichtlich der Energy Dynamics Awareness ($M_{KA}$ = 4.27, $M_{KB}$ = 3.94) sowie der extrinsischen Motivation durch die Variable perceived Usefulness ($M_{KA}$ = 4.68, $M_{KB}$ = 4.2) hin. Zur Interpretation der Mittelwertdifferenzen wurden die Ergebnisse mittels eines Zweistichproben-*t*-Test für abhängige Stichproben (gepaarter *t*-Test) analysiert. Zur Messung der Effektstärken wurde Cohen's *d* (Cohen, 1988) berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 9 angegeben. Um die Alphafehler-Kumulierung bei multiplen Vergleichen zu neutralisieren wurde das zuvor mit definierte Signifikanzniveau mittels Bonferroni-Korrektur auf gesetzt.

**Tabelle 8**

*Deskriptive Werte der Konzepte A und B*

| Skala | Konzept A | Konzept B |
|---|---|---|
| Übersichtlichkeit (LCY) | 4.94 (0.90) | 4.32 (1.01) |
| Energy Dynamics Awareness (EDAS) | 4.27 (1.11) | 3.94 (1.20) |
| Perceived Usefulness (USF) | 4.68 (0.82) | 4.26 (1.24) |
| Perceived Enjoyment (ENJ) | 4.03 (1.10) | 3.88 (1.39) |

*Hinweis.* Mittelwerte der Skalen, Standardabweichung in Klammern. ($N$ = 39).

**Tabelle 9**

*Ergebnisse der gepaarten* t*-Tests für alle Skalen inklusive der Effektstärken (Cohen's* d*).*

| *t*-Test | Freiheitsgrade (*df*) | *t* | Cohen's *d* |
|---|---|---|---|
| $LCY_A$ vs. $LCY_B$ | 38 | 3.101* | .497 |
| $EDAS_A$ vs. $EDAS_B$ | 38 | 1.607 | .257 |
| $USF_A$ vs. $USF_B$ | 38 | 1.734 | .278 |
| $ENJ_A$ vs. $ENJ_B$ | 38 | 0.652 | .104 |

*Hinweis.* *$p$ < .05

Es zeigte sich, dass der Unterschied in der Übersichtlichkeit von Konzept A und Konzept B signifikant war ($p$ < .05), wobei Konzept A höhere Werte erzielte. Cohen's $d$ wies dabei mit einem Wert von .497 auf eine mittlere Effektstärke nach Cohen (1988) hin ($d$ > .4). Nicht signifikant waren hingegen die Unterschiede hinsichtlich Energy Dynamics Awareness ($p$ = .116), perceived Usefulness ($p$ = .091) und perceived Enjoyment ($p$ = .519).

Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Hypothese H1. Konzept A "Reichweitenampel" hat einen signifikant höheren Effekt auf die Übersichtlichkeit der Visualisierung der heuristischen Reichweitenbewertung als Konzept B "Reichweitenrennen". Die Hypothese H2 wurde hingegen nicht bestätigt, da Konzept B rein deskriptiv niedriger bewertet wurde als Konzept A. Es konnte daher kein signifikant höherer Effekt von Konzept B auf die Variable perceived Enjoyment und somit auf die intrinsische Motivation zur Nutzung für die Reichweitenbewertung im Vergleich zu Konzept A festgestellt werden. Letzteres deutet darauf hin, dass ein Gamification-Ansatz (wie in Konzept B) entweder nicht für die Steigerung der intrinsischen Motivation im Kontext heuristischer Reichweitenbewertungen im Elektrobus geeignet ist oder dass dieser Ansatz in Konzept B nicht geeignet umgesetzt wurde.

Da beide Konzepte lediglich untereinander verglichen wurden, ist eine absolute Bewertung der Konzepte nur schwer möglich. Denn aus dem Vergleich kann nicht geschlossen werden, ob die Konzepte insgesamt eher positiv oder eher negativ bewertet wurden. Um dennoch eine ungefähre Einschätzung der absoluten Bewertung treffen zu können, kann der Skalenmittelpunkt (3.5) als Schwellenwert herangezogen werden. Bewertungen über diesem Schwellenwert bedeuten eine Zustimmung zur jeweiligen Aussage und weisen somit auf eine positive Bewertung des Konzepts hin. Es fällt auf, dass alle Variablen bei beiden Konzepten überwiegend Bewertungen oberhalb dieses Schwellenwertes erzielten. So bewerteten 95% der Proband:innen Übersichtlichkeit und perceived Usefulness von Konzept A höher als 3.5. Die Energy Dynamics Awareness lag zu 82% und perceived Enjoyment zu 72% oberhalb dieses Wertes. Bei Konzept B lagen Übersichtlichkeit zu 77%, perceived Usefulness zu 72%, Energy Dynamics Awareness zu 64% und perceived Enjoyment zu 59% darüber. Auf Grundlage dieser deskriptiven Betrachtung kann argumentiert werden, dass beide Konzepte (insbesondere Konzept A) generell positiv bezüglich der abgefragten Variablen bewertet wurden. Dies weist darauf hin, dass sowohl Konzept A als auch Konzept B für die übersichtliche und unmittelbar erfahrbare Visualisierung der identifizierten Heuristiken geeignet sind.

Somit kann die Forschungsfrage insofern beantwortet werden, als die heuristische Bewertung der Reichweitensituation durch den Einsatz von Interface-Metaphern, ähnlich zu den Konzepten A (Reichweitenampel) und B (Reichweitenrennen), übersichtlich und unmittelbar erfahrbar handlungsintegriert visualisiert werden kann. Dabei ermöglicht das Konzept A eine signifikant höhere Übersichtlichkeit als das Konzept B.

### 2.3.2. Reichweitensteigerung

Neben der Reichweitenbewertung wurden im Projekt auch Ansätze zur Unterstützung bei der Reichweitensteigerung untersucht und entwickelt.

**Zeitbasiertes Feedback**

Innerhalb der Konzeptionsphase fiel die Wahl der Indikatoren auf die Indikatoren Gesamteffizienz, Beschleunigungseffizienz, Schwungausnutzung und Vermeiden der Reibungsbremse. Ausschlaggebend für die Wahl dieser vier Indikatoren war unter anderem die Studie von Neumann et al. (2015), in der sich das Beschleunigungs- und Bremsverhalten der Fahrer:innen und als hilfreiche und aussagekräftige Indikatoren erwiesen. Darüber hinaus wird das als Sailing bezeichnete Ausrollen des Autos oft als zuverlässiger Faktor für eine energiesparende Fahrweise angesehen (vgl. u.a. Günther et al., 2017). Da aufgrund des Rekuperationsverhaltens des Elektrobusses ein echtes Sailing nicht möglich ist, wurde die Indikatorbezeichnung Schwungausnutzung gewählt.

Der Indikator Gesamteffizienz soll einen Eindruck von dem durchschnittlichen Verbrauch des Elektrobusses vermitteln. Weil sich die anderen drei Indikatoren auf den Verbrauch des Busses auswirken, fasst die Gesamteffizienz somit die Indikatoren Beschleunigungseffizienz, Schwungausnutzung und Vermeiden der Reibungsbremse übergeordnet zusammen. Der Wert in Kilometer je kWh ergibt sich aus der Anzahl der gefahrenen Kilometer eines zuvor definierten Intervalls, dividiert durch die Differenz des Akkustand in dem Intervall.

Auch die Beschleunigungseffizienz ergibt sich aus einer intervallbasierten Betrachtung. Hierfür werden zunächst alle Beschleunigungsvorgänge sowie die aufgewendete Leistung pro Beschleunigungsvorgang in einem definierten Intervall herausgefiltert. Um die Einheit km/h pro kW zu erhalten werden die

gewonnene Geschwindigkeiten jeweils durch die berechneten Leistungswerte geteilt. Für einen Durchschnittswert je Intervall werden die berechneten Indikatorwerte der einzelnen Beschleunigungsvorgänge addiert und schließlich durch die Anzahl der Beschleunigungsvorgänge innerhalb des betrachteten Intervalls dividiert.

Für den Indikator Schwungausnutzung werden in einem definierten Intervall Streckenabschnitte in Metern summiert, in denen weder das Gas- noch das Bremspedal betätigt und der Schwung des Busses ausgenutzt wurde.

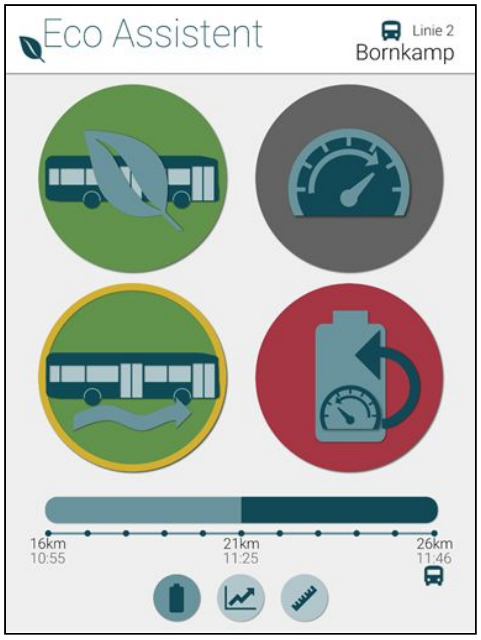
Vermeiden der Reibungsbremse ist angelehnt an die Berechnung der Schwungausnutzung. Ausgangsbedingung für das Vermeiden der Reibungsbremse ist das Nichtbetätigen des Gaspedals, es werden also wieder Streckenabschnitt gefiltert, in denen das Gaspedal nicht gedrückt wurde. Anschließend wird überprüft, ob während dieser Streckenabschnitte Energie im effizienten Rekuperationsbereich zurückgewonnen wurde. Zuletzt werden alle auf diese Weise ermittelten Streckenmeter addiert und als Indikator Vermeiden der Reibungsbremse ausgegeben.

Um ein Interface zu konzipieren, das in die Arbeitshandlungen der Busfahrer:innen integriert werden kann, ist ein unmittelbar verständliches Interface-Design notwendig, welches nur minimal zusätzliche kognitive Ressourcen vom Fahrpersonal abverlangt. Auf dieser Basis wurde schließlich eine symbolbasierte Indikator-Anzeige konzipiert (Abbildung 21), die den Busfahrer:innen mit lediglich vier Indikator-Symbolen einen Eindruck von ihrer Fahrweise vermitteln soll.

Um leichter nachvollziehen zu können, auf welche zurückgelegte Strecke sich die aktuelle Anzeige bezieht, befindet sich unterhalb der Indikator-Symbole eine Indikator-Referenz-Anzeige. Der dunkel gefärbte Balkenbereich repräsentiert die Fahrstrecke der letzten 5 Kilometer, während der hell gefärbte Balkenbereich für den Referenzbereich - also die vorherigen 5 Kilometer - steht. Der Kilometer-Messer unterhalb der Balken aktualisiert sich zusammen mit den Indikator-Symbolen im Kilometer-Takt. Für eine bessere zeitliche Einordnung wird zudem unter den Kilometerangaben die geloggte Uhrzeit angezeigt.

**Abbildung 21**

*Indikator Anzeige*

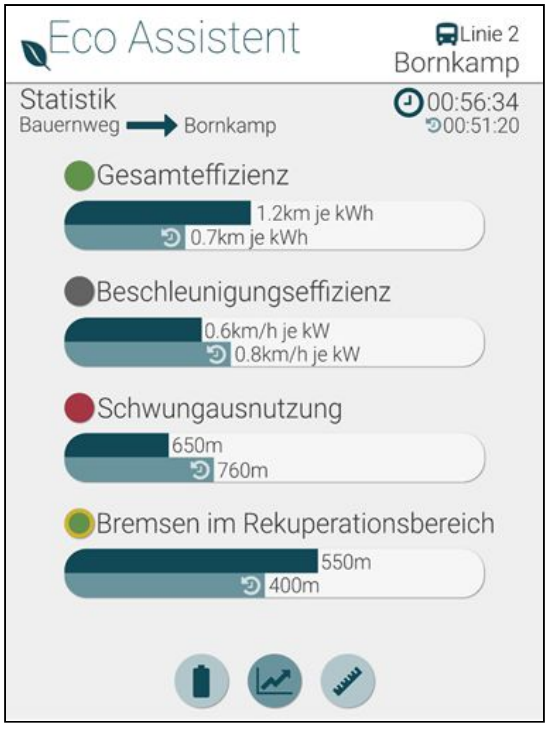


War beispielweise die Fahrweise einer Busfahrerin oder eines Busfahrers im aktuellen Intervall energieeffizienter als im vorherigen Intervall, ist dies anhand eines grün eingefärbten Indikator-Symbols zu erkennen. Falls die Fahrweise genauso effizient oder weniger effizient war, bleibt das Indikator-Symbol grau. Wenn die Schwungausnutzung während der letzten fünf Kilometer die effizienteste Schwungausnutzung seit Fahrtbeginn war, so erhält das grün gefärbte Indikator-Symbol zusätzlich eine goldene Umrandung. War jedoch die Schwungausnutzung der letzten 5 Kilometer der schlechteste Wert seit Fahrtbeginn, dann erhält der:die Busfahrer:in einen Hinweis über einen roten Indikator. Jedes Indikator-Symbol kann sich somit rot, grau, grün oder grün mit Goldrand einfärben.

Zusätzlich zur Indikator-Anzeige bietet das Assistenzsystem eine Statistik-Anzeige, die nach Abschluss einer Linienfahrt zusammenfasst, wie energiesparend die Fahrweise zwischen den letzten beiden Endhaltestellen war (Abbildung 22). Auch hier wird die Fahrweise anhand der gleichen vier Indikatoren ausgewertet. Um einen besseren Eindruck von der Fahrweise zu erhalten, können die Busfahrer:innen mit Hilfe der Statistik-Anzeige ihre Fahrleistung mit den Daten aus der vorherigen Umlauffahrt auf der jeweiligen Linie vergleichen. Hierfür wird die aus den früheren Iterationen bekannte Balkendarstellung genutzt. Der dunkel gefärbte Balken repräsentiert die aktuelle Fahrleistung, während der hell gefärbte Balken für den Wert der letzten Fahrt auf dieser Linie steht. Ergänzend hierzu bietet die bekannte Farbcodierung der Indikator-Symbole auch hier wieder einen schnellen Überblick. War zum Beispiel die Gesamteffizienz bei dieser Fahrt höher, als die Gesamteffizienz der Vergleichsfahrt, so erkennt man dies an dem grün gefärbten Symbol vor der Zusammenfassung. Auch hier werden die besten Werte mit einer goldenen Umrandung und die schlechtesten Werte rot gekennzeichnet. Zudem können die Busfahrer:innen oben rechts in der Statistik-Anzeige die Dauer der Umlauffahrt von Endhaltestelle zu Endhaltestelle im Vergleich zur Vergleichsfahrt ablesen.

**Abbildung 22**

*Statistikanzeige*



Für die Evaluation dieser Interfacekonzeptionen des zeitbasierten Feedbacks wurde eine qualitative Interviewstudie mit Fragebogenanteilen mit 10 Busfahrer:innen (2 weiblich) mit erster Erfahrung im Fahren eines Elektrobusses (durchschnittliche Fahrstunden: $M$ = 14.6, $SD$ = 8.8, Min = 4, Max = 30) durchgeführt.

Nach dem ersten Teil des Interviews (nicht Teil dieser Analyse, siehe Abschnitt 2.2.1.) wurde den Teilnehmer:innen ein Video gezeigt, das den "Eco Assistenten"-Prototypen vorstellte. Der Interviewer stellte dann vier auf den Prototyp bezogene Interviewfragen: "Inwieweit würde Sie eine solche Anzeige beim energieeffizienten Fahren unterstützen?", "Inwieweit sind die Informationen für Sie verständlich dargestellt? Was ist unklar? Wo sehen Sie Verbesserungsbedarf?", "Welche dargestellten Informationen erachten Sie als besonders hilfreich in Bezug auf eine energiesparende Fahrweise? Auf welche Informationen könnten sie verzichten?", "Vermissen Sie weitere Informationen, die Sie für eine energiesparende Fahrweise als hilfreich empfinden?". Die Audioaufzeichnungen wurden wortwörtlich transkribiert, und anschließend wurde eine In-vivo-Kodierung durchgeführt, um die Merkmale der Anzeige, die als unterstützend für umweltbewusstes Fahren empfunden wurden, und Merkmale, die nicht als unterstützend angesehen wurden zu extrahieren. Alle genannten Merkmale wurden aufgelistet und als Merkmalsgruppen zusammengefasst.

In dem Interview wurden insbesondere Merkmale folgender Merkmalsgruppen erwähnt (Anzahl der Teilnehmer:innen mit mindestens einem Code in dieser Merkmalsgruppe in Klammern): die fahrtspezifischen Daten oder Inhalte, die die Indikatoren vermitteln sollen (8), die Menge der Indikatoren oder Informationen, die gleichzeitig angezeigt werden sollen (4) und was bei der Berechnung spezifischer Indikatoren zu berücksichtigen ist (3), die Art und Weise, wie das Feedback zu diesen Indikatoren gegeben wird (9), welche Referenzwerte oder Vergleiche dem gegebenen Feedback zugrunde liegen sollen (3), den für sie persönlichen Wert (Vorteil), den sie von einer Anzeige erwarten (4) und wie eine Anzeige im Elektrobus eingebaut (2) und genutzt (3) werden soll. In dieser Evaluation konzentrieren wir uns auf die Antworten der Benutzer:innen hinsichtlich der Art und Anzahl der Indikatoren sowie der Logik des bereitgestellten Feedbacks.

Mehrere Teilnehmer:innen erklärten, dass alle Indikatoren relevant seien (4). Nichtsdestotrotz wurde der Indikator für die Schwungausnutzung hervorgehoben (4) im Vergleich zu den anderen Indikatoren ("Also ich finde die Anzeige mit dem Ausrollen ganz gut (Schwungausnutzung) [...] z.B. das anders Anfahren an die Haltestelle. Es bringt ja nichts da jetzt nochmal Gas zu geben um noch nicht einmal eine Sekunde schneller da zu sein, aber dafür einen Kilometer weniger drauf zu haben [...]."). Der Indikator "Vermeiden der Reibungsbremse" wurde am seltensten hervorgehoben (1), außerdem schlugen drei Teilnehmer:innen sogar vor, diesen Indikator komplett wegzulassen. Hinsichtlich der Menge der dargestellten Informationen gaben die Teilnehmer:innen beispielsweise an, dass ein Indikator ausreichen würde (1), dass zwei Indikatoren die optimale Anzahl von Indikatoren sind (1) und dass die Anzeige zu viel Aufwand erfordert, wenn sie im alltäglichen Busverkehr eingesetzt werden würde (2), was dazu führt, dass vier Teilnehmer:innen weniger Informationsmenge vorschlagen ("Weil ich da auch gar nicht drauf achte. Ich fahre nach meinem Gefühl, beziehungsweise muss da auch auf den Verkehr und die Fahrgäste achten, und da kann ich nicht dauernd da rauf gucken."). Rückmeldungen, die darauf hinweisen, dass das Fahrverhalten innerhalb eines akzeptablen effizienten Zielbereichs liegt (6), wurden häufiger genannt als andere Arten von Rückmeldungen wie die Belohnung außergewöhnlich energieeffizienten Fahrverhaltens (3) oder Warnungen bei problematischem Fahrverhalten (1) ("Also das mit den Farben finde ich so sehr schön [...]. Weil man das schneller aufnehmen kann, als wenn man auf irgendwelche Zeiger gucken müsste. Wenn ich grün habe dann weiß ich, 'Aha, alles richtig gemacht', bei Rot 'Okay, sollte man was

tun' und bei den anderen, grau, 'Okay, bin im Normalbereich' [...].”). Die Teilnehmer:innen erklärten, dass die Referenzstrecken/-zeit für die Berechnung der Indikatoren für das Feedback lang genug sein sollten (2) und die Vergleichbarkeit der Referenzstrecken berücksichtigen sollte (z.B. durch Verwendung der gleichen Linienfahrten; 2).

In dieser Nutzer:innen-Studie wurden die Hauptmerkmale des Prototyps für zeitbasiertes Feedback mit Elektrobusfahrer:innen diskutierte. Allgemein wurden die vorgeschlagenen Indikatoren von den Fahrer:innen als relevant empfunden, trotzdem sind weitere Untersuchungen erforderlich, um zu validieren, wie gut verschiedene Indikatoren tatsächlich Unterschiede in der Energieeffizienz im Zusammenhang mit dem Fahren von Elektrobussen im ÖPNV quantifizieren können. Zweitens unterstreichen die Antworten der Teilnehmer:innen, dass die Reduzierung der Informationsmenge eine wesentliche Voraussetzung für den untersuchten Nutzungskontext ist. Dies stellt eine bedeutende Herausforderung für ein handlungsintegriertes Anzeigendesign dar, das darauf abzielt, präzisere (d.h. handlungsorientierte) Informationen zu liefern als nur die Gesamtenergieeffizienz. Drittens tendieren die Teilnehmer:innen dazu, statt einer Rückmeldung als Belohnung/Strafe für außergewöhnliches Fahrverhalten eine Rückmeldung zu bevorzugen, die anzeigt, dass ihr Fahrverhalten innerhalb eines bestimmten grünen Bereichs liegt, in dem keine weitere Verhaltensanpassung erforderlich ist. Viertens sollte das Feedback immer auf einer ausreichenden Menge an Referenzdaten basieren, um die Vergleichbarkeit der Fahrbedingungen zu erhöhen. Die Implikationen dieser Studie auf das Design sind limitiert durch die geringe Erfahrung der Teilnehmer:innen mit dem Fahren von Elektrobussen und dadurch, dass der Prototyp nur per Video präsentiert und nicht in einem realen Elektrobus ausprobiert wurde. Alles in allem sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um die Dynamik verschiedener möglicher Metriken zur Quantifizierung des energieeffizienten Fahrverhaltens im Elektrobusbetrieb zu untersuchen.

### Streckenbasiertes Feedback

Eine Linienfahrt im Stadtverkehr ist aufgrund des Fahrgastwechsels an Bushaltestellen und verschiedenen Gegebenheiten des öffentlichen Verkehrs, durch bestimmte sich wiederholende Fahrmanöver charakterisiert, wie Änderungen der Fahrgeschwindigkeit oder vollständigem Anhalten und erneutem Losfahren. Da Be- und Entschleunigungsmanöver somit einen Großteil der Fahrt ausmachen und das Fahrverhalten den Energieverbrauch von Elektrofahrzeugen wesentlich beeinflussen kann (Bingham et al., 2012; Perrotta et al., 2013), sind EcoDriving-Indikatoren denkbar, welche die Energieeffizienz des Be- und Entschleunigungsverhalten des Fahrpersonals unterstützen.

Der Energieverbrauch ist kein Indikator, welcher sich handlungsintegriert auf eine bestimmtes Fahrverhalten bezieht, kann in Kombination mit EcoDriving-Indikatoren, die sich speziell auf bestimmte Fahrweisen beziehen, aber unterstützend wirken. Ist der Energieverbrauch durch ein bestimmtes ineffizientes Fahrverhalten während eines Streckenabschnitts beispielsweise besonders hoch, kann der Vergleich mit den Indikatorwerten Erkenntnisse über die Ursache des hohen Energieverbrauchs liefern. Für eine konsistente, einheitliche Gestaltung und ein leichteres Verständnis des Feedbacks wurden also EcoDriving-Indikatoren so konzipiert, dass sie analog zum Energieverbrauch mit einem hohen Wert eine energetisch ineffiziente und mit einem niedrigen Wert eine energetisch effiziente Fahrweise repräsentieren. Dazu wird als letzter Schritt der Indikatorberechnungen das berechnete Fahrverhalten durch die Strecke des Referenzintervalls als Bezugswert geteilt. Dadurch werden zudem die Indikatorwerte verschiedener Referenzintervalle vereinheitlicht und somit vergleichbar.

Während der Konzeption der EcoDriving-Indikatoren wurden verschiedene mögliche Berechnungen erörtert. Die drei Berechnungen der Beschleunigungs-, Entschleunigungs- und Energieflussintensität haben sich als geeignet herausgestellt, um energieeffiziente Fahrweisen zu repräsentieren und zu unterstützen. Die entwickelten Indikatoren stellen keinen Anspruch auf Vollständigkeit, ermöglichen allerdings einen grundlegenden Eindruck über die Energieeffizienz der Fahrweise.

Der Indikator der Beschleunigungsintensität liefert einen Wert, der repräsentiert, wie häufig und intensiv während einer Referenzstrecke beschleunigt wurde. Durch das Feedback über die Beschleunigungsintensität soll das Fahrpersonal also motiviert werden, seltener und weniger intensiv zu beschleunigen. Der Indikator der Entschleunigungsintensität repräsentiert die Häufigkeit und Intensität der Entschleunigungen innerhalb einer Referenzstrecke. Der Indikatorwert kann verbessert werden, indem seltener und weniger intensiv, also langsamer entschleunigt wird. Der Indikator soll das Fahrpersonal also dazu motivieren, weniger und sanfter zu entschleunigen. Der Indikator der Energieflussintensität liefert einen Wert, der repräsentiert, wie häufig und intensiv während einer Referenzstrecke beschleunigt oder rekuperiert wurde. Durch das Feedback soll das Fahrpersonal also motiviert werden, Beschleunigung und Rekuperation seltener und weniger intensiv und zur Entschleunigung das Manöver der Schwungausnutzung anzuwenden. Die Berechnungen der Indikatoren sind in Tabelle 10 skizziert.

**Tabelle 10**

*Berechnungen und Erklärungen der drei Fahrverhaltensindikatoren*

| | | |
|---|---|---|
| Beschleunigungs-intensität | $\frac{\Sigma Beschleunigung\ in\ m/s^2}{Distanz}$ | Zeigt die “Gesamtheit” der Beschleunigungen an. Reiner Verhaltens-Wert, schließt den Energieverbrauch aus der Berechnung aus. Je besser die Energieeffizienz desto geringer der Wert. |
| Entschleunigungs-intensität | $\frac{\Sigma negative\ Beschleunigung\ in\ m/s^2}{Distanz}$ | Zeigt die “Gesamtheit” der Bremsvorgänge an. Reiner Verhaltens-Wert, schließt den Energieverbrauch aus der Berechnung aus. Je besser die Energieeffizienz desto geringer der Wert. |
| Energiefluss-intensität | $\frac{\Sigma \lvert Leistung \rvert * Dauer}{Distanz}$ | Repräsentiert “vorausschauendes Fahren”. Berechnet die Fläche unter der Kurve der am E-Motor anliegenden Leistung (sowohl positiv als auch negativ). Je besser die Energieeffizienz desto geringer der Wert. |

Da die Fahrt des Elektrobusses im Linienverkehr vor allem durch Fahrmanöver gekennzeichnet ist, bei denen Geschwindigkeit erhöht oder verringert wird, bilden die Indikatoren Be- und Entschleunigungsintensität einen wichtigen Faktor, um Rückmeldung über die Energieeffizienz der Fahrweise zu geben. Der Indikator der Energieflussintensität beinhaltet sowohl Be- als auch Entschleunigungen und zudem fasst die gesamte Fahrweise zusammen. Die drei gewählten Indikatoren bilden somit eine gute Grundlage, um einen Eindruck der vergangenen Fahrweise zu gewinnen. Zur

Verdeutlichung der Auswirkungen der durch die Indikatoren repräsentierten Fahrweise, soll zusätzlich der Energieverbrauch des Fahrzeugs als Indikator verwendet werden.

Da eine zentrale Frage des Projekts NuR.E lautet, wie die psychologischen Reichweiten optimal gesteigert werden können, wurden der Energieverbrauch und die Fahrverhaltensindikatoren genauer untersucht. In erster Linie kann davon ausgegangen werden, dass der Energieverbrauch beim Fahren von unterschiedlichen Einflüssen abhängt, z.B. dem Wetter, dem Verkehrsaufkommen, den technischen Gegebenheiten im Fahrzeug und nicht zuletzt auch von der Fahrweise des Fahrpersonals, die uns im Rahmen des nutzerzentrierten Reichweitenmanagements besonders interessiert. Generell kann man Fahrverhaltens-Indikatoren darin unterscheiden wie handlungsnah sie sind. Ein System, dass die Gaspedalstellung prüft ist maximal handlungsnah, da genau an dieser Stelle die Fahrer:innen ihren Einfluss ausüben. Das System kann aber stark frustrierend sein, da der einzige Schluss ist, immer langsam zu fahren. Was passiert aber bei Beschleunigungsvorgängen, die sicherheitsrelevant sind, oder wenn das Fahrpersonal Zeit aufholen muss? Der Momentanverbrauch liegt genau am anderen Ende der Dimension und ist der globalste Indikator. Einflüsse auf den Momentanverbrauch ist nicht nur das Fahrverhalten, sondern eben auch Beladung, Streckenbeschaffenheit, Wetter, usw.

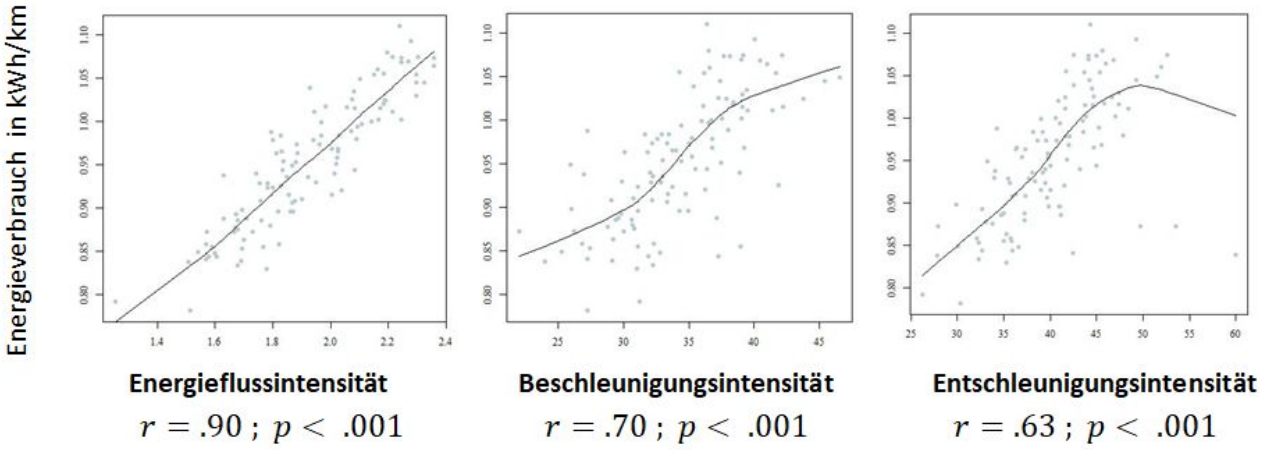
Entscheidend ist also, dass Indikatoren miteinbezogen werden, die dazwischen liegen und sowohl handlungsnah sind, als auch einen tatsächlichen Einfluss auf den Verbrauch haben. Die beschriebenen Indikatoren Energieflussintensität, Beschleunigungsintensität und Entschleunigungsintensität sind so ausgewählt, dass sie auf unterschiedliche Art diese Voraussetzung erfüllen. Während die Energieflussintensität den tatsächlichen Verbrauch mit in die Metrik einbezieht, sind Beschleunigungsintensität und Entschleunigungsintensität reine Verhaltensmetriken, die den tatsächlichen Verbrauch nicht mit einbeziehen. Ersterer ist somit globaler (aber weniger global als der Gesamt-/ Momentanverbrauch) und die beiden letzten sind eher handlungsnah.

Anhand einer Fahrdatenauswertung (siehe Abschnitt 4.1 für einige technische Details) wurden die Indikatoren nachträglich für reale Daten von Linienfahrten berechnet, um deren Zusammenhang mit dem Verbrauch zu untersuchen. Grundlage war demnach eine Stichprobe von N = 110 Linienfahrten der gleichen Fahrtrichtung (Ost nach West). Die Zusammenhänge sind in Abbildung 23 dargestellt.

Es muss festgelegt werden, auf welches Referenzintervall sich das Feedback bezieht, also die Fahrweise innerhalb welchen Zeitraums oder Streckenabschnitts durch das Feedback repräsentiert wird. Da die Pausen an den Endhaltestellen der Linienfahren einen geeigneten Zeitpunkt für die Verwendung des Feedbacksystems darstellen, ist es sinnvoll als Referenzintervall die gesamte Linienfahrt zwischen den Endhaltestellen beziehungsweise zwischen den Feedbackzeitpunkten zu wählen. Um die Segmentierung der Linienfahrt zu verdeutlichen und verständlich zu vermitteln, auf welche Referenzstrecke sich das Feedback bezieht, soll eine Haltestellenleiste dienen, welche die Linienfahrt samt der vier Haltestellen, welche die Linien in drei Abschnitte unterteilen, darstellt. Unterhalb der drei horizontalen Linien wird das Feedback der jeweiligen Abschnitte dargestellt. Die Kürzel an der Linie stehen für die Namen der unterteilenden Haltestellen. Wie im vorherigen Abschnitt ausgeführt, besteht das Indikatorfeedback aus jeweils drei Haltestellenabschnitten für insgesamt vier Indikatoren und kann daher in Form einer Matrix oder Tabelle dargestellt werden. Die Spalten enthalten jeweils das Feedback eines Haltestellenabschnitts und die Zeilen jeweils das Feedback eines Indikators für drei Haltestellenabschnitte. Die tabellenförmige Anordnung des Indikatorfeedbacks ist anhand eines ersten Entwurfs in Abbildung 24 dargestellt. Zur Übersicht und Einordnung des Feedbacks dienen die Indikatorüberschriften direkt über den jeweiligen Indikatorwerten und die Haltestellenleiste ganz oben.

**Abbildung 23**

*Korrelationen der Fahrverhaltensindikatoren*




*Hinweis.* Korrelationen der Fahrverhaltensindikatoren mit dem Energieverbrauch. *N* = 110 Linienfahrten

**Abbildung 24**

*Erstes Mockup des streckenbasierten Feedbacksystems*

*Hinweis.* Erstes Mockup des Feedbacksystems mit tabellenförmiger Anordnung des Indikator-Feedbacks in numerischer Repräsentation.

Die Indikatorwerte des Feedbacksystems können auf verschiedene Weise visualisiert werden. Im Mockup in Abbildung 24 ist mit der numerischen Repräsentation die einfachste Form abgebildet. Die Werte sind zwar sehr einfach zu lesen und miteinander zu vergleichen, dennoch ist es nicht möglich einen Überblick zu erhalten, ohne alle Werte einzeln zu betrachten. Alle Werte sind gleich dargestellt und fallen nicht durch ihre Repräsentation auf. Denkbar wäre zum Beispiel eine Visualisierung der Indikatorwerte ähnlich eines Säulendiagramms, sodass Werte durch besonders niedrige oder hohe

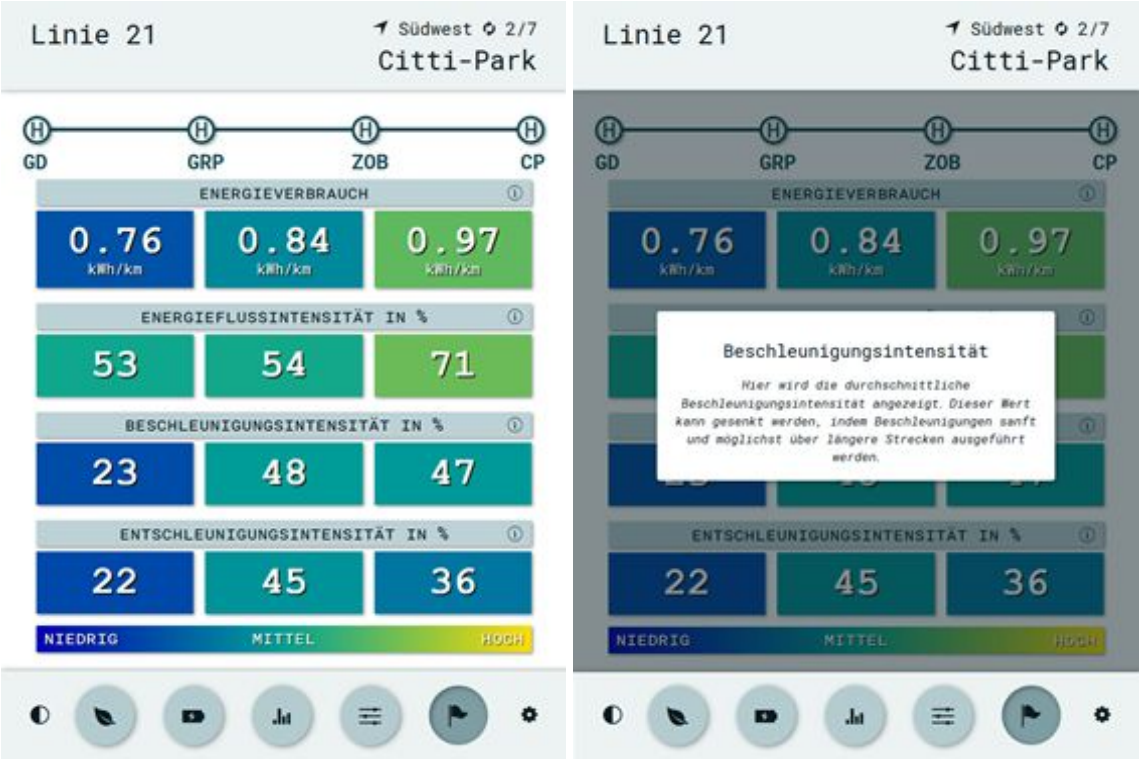
Säulen auffallen. Zusätzlich zur Höhe der Säulen kann der Wert in numerischer Form dargestellt werden, um das Vergleichen der Feedbackwerte zu erleichtern.

Des Weiteren kann die Farbe des Indikatorfeedbacks als Wahrnehmungsmerkmal dienen. Das Spektrum möglicher Farbwerte könnte in einer Leiste unterhalb der vier Indikatoren dargestellt werden und der Einordnung und Interpretation der Farbtöne dienen (vergleiche Abbildung 25). Während der Interfacekonzeption wurden einige Varianten der Weiterentwicklung konzeptionell untersucht, um zu der farblichen und numerischen Repräsentation des Feedbacks zusätzlich detaillierteres Feedback anzuzeigen. Aufgrund der angestrebten Einfachheit und der leichten Verständlichkeit des Feedbacks innerhalb kürzester Zeit wurden die Varianten für eine potentielle Weiterentwicklung des Feedbacksystems im Rahmen dieses Projekts jedoch nicht weiterverfolgt.

Die Evaluation des streckenbasierten Feedbacks wurde als Teil einer Onlinestudie mithilfe erklärender Videos und verschiedener Fragebögen durchgeführt. Im Fokus standen dabei die wahrgenommene Vertrauenswürdigkeit des Systems, der Einfluss des Systems auf das Verständnis der Energiedynamik des Elektrobusses und die Selbstwirksamkeitsüberzeugungen der Elektrobusfahrenden. Als potentielle Nutzer:innen-Gruppe wurden Elektrobusfahrer:innen von Verkehrsunternehmen verschiedener deutscher Städte kontaktiert.

**Abbildung 25**

*Interface des streckenbasierten Feedbacksystems*

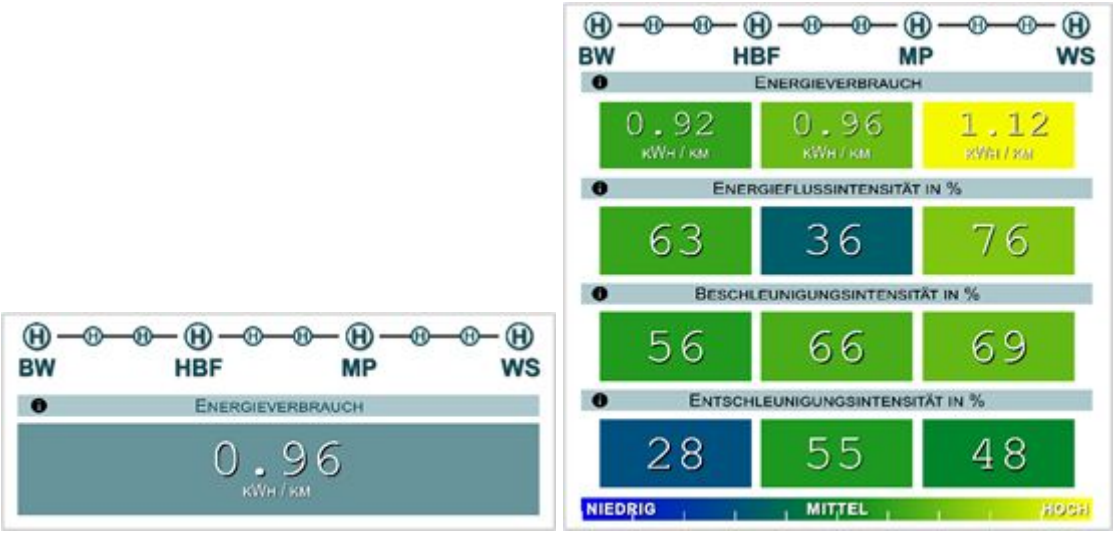



*Hinweis.* Das entwickelte Interface (links) mit eingeblendeter Beschreibung des Indikators der Beschleunigungsintensität als Pop-up (rechts).

Das konzipierte Feedbacksystems mit den handlungsintegrierten Indikatoren sowie der Effizienzvisualisierung sollte mit Hilfe eines *t*-Test bewertet werden. Dafür wurde ein weiteres, einfacheres Konzept vorgestellt, welches den durchschnittlichen Energieverbrauch in Kilowattstunden je Kilometer für die gesamte Linienfahrt anzeigt. Der Energieverbrauchswert wird in der einfachsten Form repräsentiert, also lediglich numerisch und nicht durch den entsprechenden Farbton oder andere Formen. Das einfache Konzept liefert demnach Feedback ohne handlungsintegrierte EcoDriving-Indikatoren und ohne entsprechender Effizienzvisualisierung. In Abbildung 26 ist das Konzept mit dem Energieverbrauch (links) und das Konzept mit dem Indikatorfeedback (rechts) abgebildet.

**Abbildung 26**

*Die Evaluationskonzepte "Energieverbrauch" und "Indikatorfeedback"*




*Hinweis.* Die in der Evaluation genutzten Konzepte mit dem Energieverbrauch (links) und mit Indikatoren und Effizienzvisualisierung (rechts).

Die Evaluation startete mit einem Video, welches ein Anwendungsszenario des Feedbacksystems beschreibt, damit sich die Teilnehmer:innen in die beschriebene Situation hineinversetzen konnten, in dem sie das System verwenden würden. Nach dem Szenario wurden die zwei Konzepte ebenfalls durch je ein Video vorgestellt. In dem Video des konzipierten Indikatorfeedbacks werden vor allem die verschiedenen Indikatoren sowie die Visualisierung der Effizienzvarianz beschrieben. Im Anschluss an die Vorstellung beider Konzepte wurden jeweils einige Fragen zur Bewertung des vorgestellten Konzepts gestellt. Dabei wurde die um fünf Items erweiterte Skala Facets of System Trustworthiness (FOST; Franke et al., 2015b) zur Operationalisierung der wahrgenommenen Vertrauenswürdigkeit genutzt und die Energy Dynamics Awareness Scale (siehe Abschnitt 3.2.) und deren beiden Aspekte "Wahrnehmung" und "Kontrolle" für die Überprüfung des Einflusses des Feedbacksystems auf das Verständnis in Bezug auf die Energieeffizienz und die Energiedynamik und damit schließlich auch auf die Selbstwirksamkeit.

Abschließend wurden die Teilnehmer:innen nach der ihnen durchschnittlich an den Endhaltestellen zur Verfügung stehenden Zeit zur Verwendung eines Informationssystems gefragt. Zudem wurden den Teilnehmer:innen demografische Fragen zu Alter und Geschlecht sowie Fragen zu ihrem Erfahrungsstand als Fahrer:innen im Elektrobus gestellt.

An der Onlineumfrage nahmen insgesamt 15 Busfahrer:innen aus drei verschiedenen deutschen Städten teil. Ein:e Teilnehmer:in gab an, noch keinen Elektrobus gefahren zu sein, daher wurden nur die verbleibenden 14 Teilnehmer:innen (13 männlich; Alter: *M* = 48, *SD* = 11.8) berücksichtigt, die bereits Elektrobus gefahren sind. Die Teilnehmer:innen übten den Beruf als Busfahrende durchschnittlich 16.5 Jahre aus (*SD* = 11.2) und haben durchschnittlich 371.2 Stunden Dienst mit einem Elektrobus absolviert (*SD* = 438.7). Die Teilnehmer:innen gaben an durchschnittlich 14.6 Minuten Zeit an Endhaltestellen zur Verwendung einer Anzeige mit Informationen zur Fahrweise verfügbar zu haben (*SD* = 6.5).

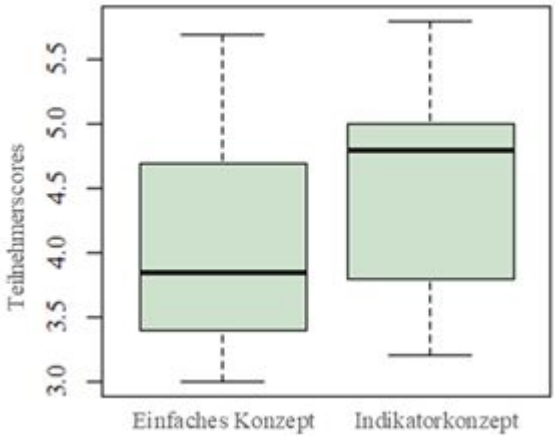
Vor der Auswertung der Evaluationsergebnisse wurde die Reliabilität der verwendeten Skalen mit Cronbach's $\alpha$ ermittelt. Neben den verwendeten Skalen wurden auch die ursprüngliche Subskala der FOST-Skala und die zwei Faktoren Wahrnehmung und Kontrolle als Subskalen die EDAS hinsichtlich der Reliabilität analysiert. Alle Cronbach's $\alpha$ Werte liegen über .83 und deuten damit auf eine ausreichende Reliabilität der Skalen hin.

Die Bewertungen der zwei Anzeigenkonzepte durch die Evaluationsteilnehmer:innen wurden mittels *t*-Test für abhängige Stichproben analysiert (Field et al., 2012) um zu prüfen, ob das Indikatorkonzept im Vergleich zu dem einfachen Konzept anhand der verwendeten Skalen signifikant besser bewertet wurde und somit das Systemvertrauen. das Verständnis der Energiedynamik und die Selbstwirksamkeitsüberzeugungen der Busfahrer:innen unterstützt.

In Abbildung 27 sind die Scores der Evaluationsteilnehmer:innen der verwendeten FOST-Skala in einem Boxplot-Graphen veranschaulicht. In dem Graphen wird ein höheres wahrgenommenes Vertrauen in das Indikatorkonzept (*M* = 4.46; *SD* = 0.77) im Vergleich zu der einfachen Anzeige (*M* = 4.06; *SD* = 0.84) verdeutlicht.

**Abbildung 27**

*Boxplots der Scores (FOST)*



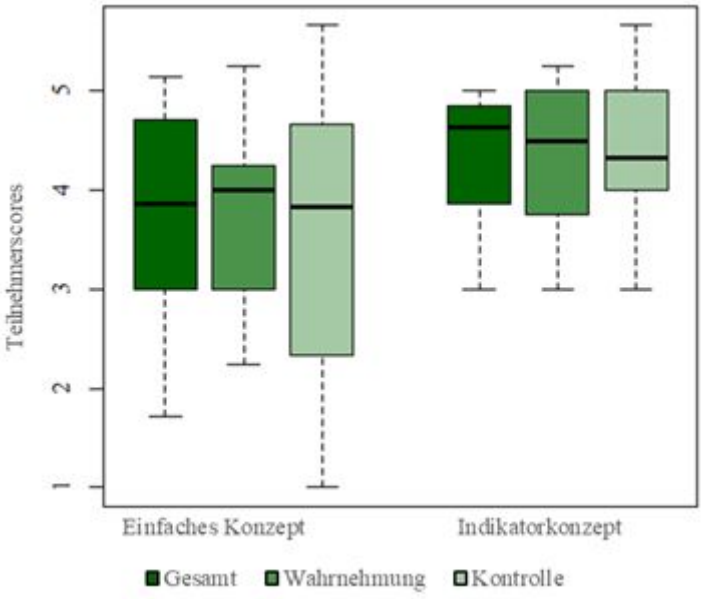

*Hinweis*. Boxplots der Teilnehmer:innen-Scores der erweiterten FOST-Skala zu den zwei bewerteten Konzepten.

Die Abbildung 28 veranschaulicht die Scores der Evaluationsteilnehmer:innen der verwendeten EDAS sowie der Subskalen zur Wahrnehmung und Kontrolle in einem Boxplot-Graphen. Der Graph zeigt auf den ersten Blick ein höheres Bewusstsein der Energiedynamik durch die Indikatoranzeige (*M* = 4.31; *SD* =

0.67) im Vergleich zu der einfachen Anzeige (*M* = 3.71; *SD* = 1.0). Auch hinsichtlich der zwei Faktoren Wahrnehmung und Kontrolle wurde die Indikatoranzeige besser bewertet als die einfache Anzeige.

**Abbildung 28**

*Boxplots der Scores (EDA Skala)*




*Hinweis*. Boxplot der Teilnehmer:innen-Scores der gesamten EDA Skala und der Subskalen zur Wahrnehmung und Kontrolle der zwei bewerteten Konzepte.

Anhand des *t*-Tests wurde schließlich geprüft, ob sich die ermittelten Scores der durch die EDAS und FOST-Skala bewerteten Konzepte signifikant unterscheiden. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der *t*-Tests aufgeführt.

**Tabelle 11**

*t-Test der zwei Skalen zum Vergleich der Bewertungen der Anzeigenkonzepte*

| Skalen | Subskalen | *t* | *p* |
|---|---|---|---|
| FOST | Erweitert | 2.44 | .030 |
| EDAS | Gesamt | 2.80 | .015 |
| EDAS | Wahrnehmung | 2.70 | .018 |
| EDAS | Kontrolle | 2.56 | .024 |

*Hinweis*. FOST = Facets of System Trustworthiness (erweiterte Skala); EDAS = Energy Dynamics Awareness Scale (inklusive Wahrnehmung und Kontrolle); *N* = 14; Freiheitsgrade *df* = 13.

Der positive Wert von *t* in allen Skalen bedeutet, dass das Indikatorkonzept einen höheren Mittelwert der Scores als das einfache Konzept hat. Daher kann aus den Ergebnissen gefolgert werden, dass das angegebene Systemvertrauen in das Feedback des Indikatorkonzepts signifikant ($p < .05$) höher ist, als

in das Feedback des einfachen Konzepts. Des Weiteren kann gefolgert werden, dass das Bewusstsein über die Energiedynamik in Bezug auf Wahrnehmung und Kontrolle der Energiedynamik durch das Indikatorkonzept signifikant höher ist, als durch das einfache Konzept.

Die Ergebnisse der durchgeführten Evaluation zeigen, dass das konzipierte Indikatorfeedback von den Teilnehmer:innen in Bezug auf die wahrgenommene Vertrauenswürdigkeit generell positiv bewertet wurde. Vor allem wurde das konzipierte Indikatorfeedback besser bewertet, als das einfache Feedback. Das lässt darauf schließen, dass die entwickelten handlungsintegrierten Indikatoren und Visualisierung der Effizienzvarianz als vertrauenswürdig wahrgenommen wurden und das Verständnis der Energiedynamiken verbessert.

Zusammengefasst ist zu erwähnen, dass alle in diesem Kapitel vorgestellten Konzepte auf vorhandene Literatur basieren aber gleichzeitig im Konzpetionsstatus einen hohen Innovationsgrad aufweisen. Damit können die Konzepte nicht unmittelbar  im ÖPNV-Betrieb eingesetzte werden. Sie können aber als Inspiration für weitere Entwicklungen und Feldtests herangezogen werden. Neben der Anzeigenkonzeption wurde im Projekt NuR.E der Aufbau eines realen Demonstratorsystems (Abschnitt 4.1.) vorangetrieben, der sich auf ein einziges hier vorgestellten Konzepts stützt.

# 3. Grundlagen der Nutzer-Energie-Interaktion

Neben der Anzeigenentwicklung für den konkreten Anwendungsfall des Stadtverkehr Lübeck ist ein Ziel des Vorhabens NuR.E die Generierung von transferierbarem Grundlagenwissen im Bereich der Nutzer-Energie-Interaktion. Die Forschung hierzu baut auf wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Psychologie der Energieeffizienz und der Ressourcennutzung auf.

## 3.1. Psychologische Reichweiten

Wo substantielle Anteile der Batteriekapazität in der Nutzung der Reichweitenressourcen verloren gehen, lässt sich anhand der psychologischen Reichweiten erklären, die bereits in vorherigen Studien im Rahmen großangelegter Feldversuche mit Elektrofahrzeugen entwickelt wurden (Franke et al., 2012; Franke et al., 2013; Franke et al., 2015a) .

Die technische Reichweite repräsentiert hierbei die objektiv verfügbare Reichweite unter standardisierten Fahrzyklus-Bedingungen. Jedoch sind beispielsweise Fahrerkompetenzen zur Reichweitenverlängerung begrenzt, und damit liegt die für bestimmte Fahrer:innen maximal erreichbare Reichweite (kompetente Reichweite) niedriger. Weiterhin verfolgen Fahrer:innen in der Alltagsnutzung vielfältige Regulationsziele (Sicherheit, Komfort, Energie). Damit ist es im Alltag meist nicht möglich, die maximale Kompetenz zur Reichweitenverlängerung zur Anwendung zu bringen und es entsteht eine niedrigere, im Alltag durchschnittlich verfügbare Reichweite (performante Reichweite). Schließlich werden, bedingt durch Unsicherheiten bei der Reichweitenabschätzung, oft substanzielle Sicherheitspuffer eingeplant und die performante Reichweite wird damit nur zum Teil ausgenutzt (komfortable Reichweite). Die tatsächlich nutzbare Reichweite liegt damit aufgrund von verschiedenen psychologischen Faktoren meist erheblich niedriger als die technische Reichweite. Welche Umläufe vom Elektrobus gefahren werden hängt maßgeblich von der komfortablen Reichweite ab, die wiederum auch von der performanten und kompetenten Reichweite abhängen. Ein erster Schritt war es daher eine möglichst genaue Schätzung der psychologischen Reichweiten anzustellen um dann zu prüfen, wie diese optimal erhöht werden können.

*Komfortable Reichweite*

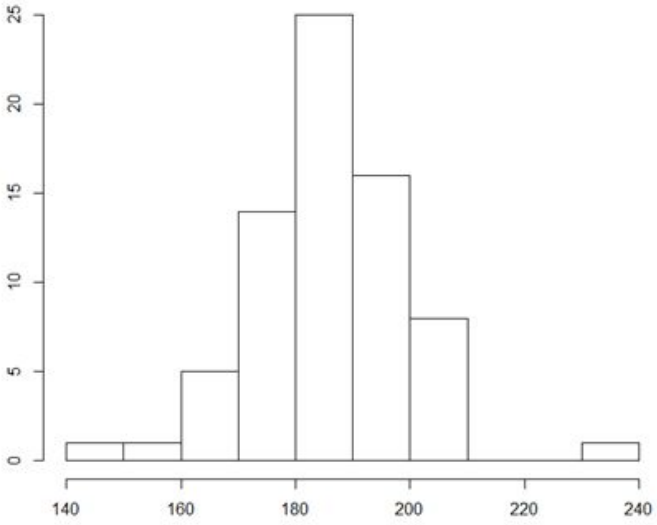
Die komfortable Reichweite lässt sich lediglich über Befragungen feststellen. Hierzu gibt es bereits etablierte Messmethoden, z.B. der Comfortable Range Scenario Task (Franke et al., 2012) aber auch einfache Befragungsitems. In der Nutzungskontextanalyse haben wir anhand $N$ = 10 Busfahrer:innen die komfortable Reichweite auf 71% der gesamten Batterieladung geschätzt. Bei einer technischen Reichweite des Elektrobus von ca. >200 km entspricht dies einer komfortablen Reichweite von 142 km.

*Performante Reichweite*

Anders als die komfortable Reichweite lässt sich die performante Reichweite aus den tatsächlichen Fahrdaten ermitteln. Dazu haben wir aus der Fahrdatenanalyse, die in Abschnitt 2.1. kurz beschrieben wird für jede:n Fahrer:in den Verbrauch der Linienfahrt (nur in einer Richtung) ermittelt und einen Durchschnitt gebildet (siehe auch Abschnitt 4.1. für technische Details). Dieser individuelle Durchschnitt kann als die im Alltag verfügbare Reichweite verstanden werden und stellt damit die performante Reichweite dar. Interessanterweise ist die performante Reichweite unter den verschiedenen Fahrern:innen sehr unterschiedlich, wie man in Abbildung 29 sieht.

**Abbildung 29**

*Performante Reichweite*



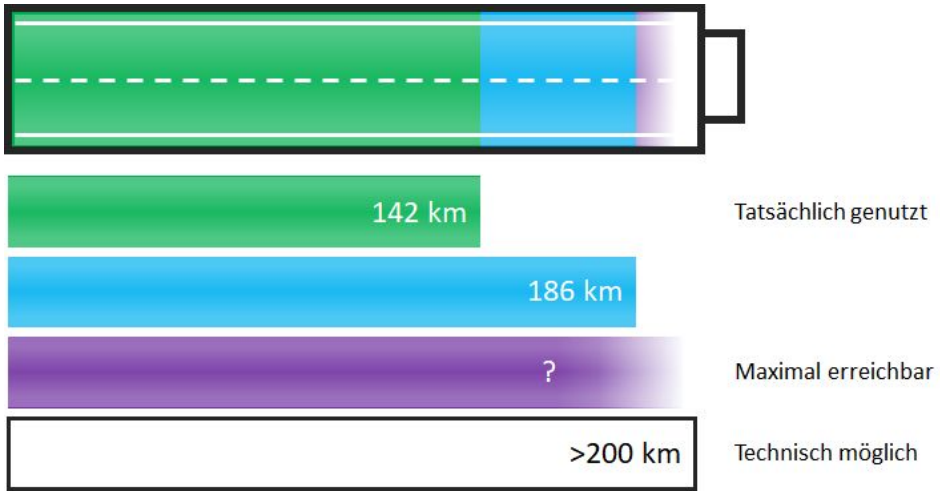

*Hinweis*. Verteilung der individuellen performanten Reichweite (*N* = 56).

Im Mittel liegt die performante Reichweite bei 186 km, für die zuverlässige Sicherstellung einer ausreichenden Reichweite im Betrieb ist es aber viel relevanter, wie breit die Streuung ist und wo die untere Grenze liegt. In dieser Abbildung lässt sich diesbezüglich erkennen, dass Fahrer:innen auch eine performante Reichweite von 140 - 150 km aufweisen. Die Schätzung der kompetenten Reichweite ist nicht trivial. Per Definition handelt es sich dabei um die tatsächlich nutzbare Reichweite unter optimalen Fahrzyklus-Bedingungen (Franke et al., 2012).

Daher wäre es notwendig, eine größere Stichprobe über einen bestimmten Zeitraum unter optimalen Bedingungen fahren zu lassen und die maximale Reichweite zu messen, was einen enormen Aufwand darstellt. Eine Annäherung an die tatsächliche kompetente Reichweite ist möglich, indem man aus den Fahrdaten den Maximalwert der gemessenen Linienverbräuche pro Fahrer:in ermittelt. Notwendig ist dafür aber, dass pro Fahrer:in eine ausreichende Anzahl an unterschiedlichen Linienfahrten vorliegt, und dass eventuelle nicht aussagekräftige Ausreißerwerte beseitigt sind. Da die Anzahl der Fahrten pro Fahrer:in hier nicht hoch genug ist, und die kompetente Reichweite in vielen Fällen statistisch nicht von der performanten Reichweite zu unterscheiden ist, berichten wir in diesem Fall lediglich die performante Reichweite. Eine Übersicht der psychologischen Reichweiten ist somit in Abbildung 30 dargestellt.

**Abbildung 30**

*Psychologische Reichweiten im Projekt NuR.E*




## 3.2. Energy Dynamics Awareness

In ressourcenabhängigen Systemen wie Häusern, (Elektro-)Fahrzeugen, Schiffen oder Maschinen stellt das Verhalten der Nutzer:innen einen wichtigen Faktor bei der Bestimmung des tatsächlichen Energieverbrauchs dar (Bingham et al., 2012; Rasmussen et al., 2018). Gleichzeitig ist die Energie selbst oft bis zu einem gewissen Grad nicht sichtbar oder greifbar, was für die Nutzer:innen ein Hindernis darstellt, ihre Energienutzung effizienter zu gestalten (Attari et al., 2010; Darby, 2006). DeWaters & Powers (2011) führen den Begriff der *Energy Literacy* als ein psychologisches Konzept ein, das affektive, kognitive und Verhaltensmerkmale in Bezug auf Energie umfasst, die den Einzelnen in die Lage versetzen, allgemein und in verschiedenen Situationen rationellere und effizientere energiebezogene Entscheidungen zu treffen. Um die Energy Literacy zu verbessern, schlagen die Autor:innen einen pädagogischen Ansatz vor. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen fanden Brounen et al. (2013) keinen Zusammenhang zwischen allgemeiner Energy Literacy oder Energiebewusstsein und energiesparendem Verhalten. Die Autor:innen begründen dies damit, dass Energiesparen dem Verbraucher im alltäglichen Umgang mit technischen Geräten kognitiv nicht ständig präsent ist und dass “Nudges” über intelligente Interfaces notwendig sind, um sich tatsächlich energieeffizienter zu verhalten.

Weitere Studien zeigen Vorteile bei der Unterstützung zum Umsetzen von Energieeffizienz durch besseres Feedback (Darby, 2006), zum Beispiel abstraktes (Gustafsson & Gyllenswärd, 2005), disaggregiertes (Kelly & Knottenbelt, 2016) oder visualisiertes Feedback in Echtzeit (Herrmann et al., 2018) über Displays oder Human-Machine-Interfaces. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass selbst wenn Einzelpersonen motiviert und fähig dazu sind, sich im Allgemeinen energieeffizient zu verhalten, den Menschen ein aktuelles Situationsmodell der Energieflüsse fehlt, wenn es um dynamische Situationen geht. Dadurch sind sie nicht in der Lage, energieeffiziente Entscheidungen zu treffen oder energieeffizientes Verhalten umzusetzen.

Um zu Verstehen, wie in dynamischen Systemen und Situationen Entscheidungen getroffen werden wurde das Konzept des Situationsbewusstseins (Situation Awareness; SB) eingeführt (Endsley, 1995). Situation Awareness entsteht auf drei Ebenen: (1) *Wahrnehmung* relevanter Elemente, (2) *Verständnis* der aktuellen Situation und (3) *Vorhersage* möglicher zukünftiger Zustände der Situation. Je genauer die Situation Awareness, desto höher ist die Chance auf ein korrektes Verstehen und passende

Entscheidungen/Handlungen innerhalb des Systems. Um eine Situation Awareness zu erreichen, schlägt Endsley (1995) vor, das Design der Interfaces zu verbessern, indem relevante Informationen in einer integrierten, zielorientierten Weise präsentiert werden und kritische Hinweise, globale Informationen und Informationen für die Vorhersage zukünftiger Ereignisse einbezogen werden.

Zusammengefasst kann man davon ausgehen, dass auch korrekte, energieeffiziente Entscheidungen in ihrem zeitlichen und dynamischen Kontext in hohem Maße von einer kontext-spezifischen Situation Awareness abhängig sind, die wir als *Energy Dynamics Awareness* (EDA) bezeichnen. Je höher die Energy Dynamics Awareness ist, desto genauer ist das Verständnis der aktuellen Energiesituation und desto höher ist die Fähigkeit, diese Situationen mit angemessenen Entscheidungen und Aktionen zu kontrollieren. Darüber hinaus sollten ausgearbeitete, menschzentrierte HMIs in der Lage sein, die Energy Dynamics Awareness zu unterstützen, indem sie situationsspezifisches Feedback und Informationen präsentieren.

Wir haben Energy Dynamics Awareness daher auch als zentrales psychologisches Konstrukt im Projekt NuR.E aber auch grundlegend für Energie-Displays in Elektrofahrzeugen identifiziert und als Kriterium für die Anzeigenentwicklung herangezogen. Um entwickelte Anzeigen in Bezug auf Ihre Fähigkeit, Energy Dynamics Awareness zu unterstützen, zu untersuchen, ist jedoch zunächst eine Messmethode notwendig. Mithilfe einer Messmethode ist es dann möglich, Reichweitenanzeigen zu evaluieren. Daher wurde zunächst unter Berücksichtigung von Kriterien psychologischer Skalenentwicklung eine EDA Skala entwickelt und anhand zweier Konzepte aus der Iteration “Heuristiken & Metaphern” (Abschnitt 2.3.1.) überprüft (siehe Gödker et al., 2019a für weitere Infos der Skalenentwicklung).

Die EDA-Skala besteht aus insgesamt 7 Items (siehe Tabelle 12) und verwendete als Antwortformat eine 6-Punkte Likert-Skala folgendermaßen: 1 = stimme überhaupt nicht zu, 2 = stimme weitgehend nicht zu, 3 = stimme eher nicht zu, 4 = stimme eher zu, 5 = stimme weitgehend zu, 6 = stimme völlig zu. Für die Analyse wird der Mittelwert aller Items berechnet, um den EDA-Score zu erhalten (für alle Items bedeutet ein hohes Rating eine hohe EDA). Die Anweisungen der EDA-Skala sind zweistufig: Zuerst muss das Evaluationsobjekt definiert werden (z.B. “Wie beurteilen Sie die Anzeige ... ?”), gefolgt von Anweisungen, was angegeben werden muss (“Bitte geben Sie an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen.”). Die beiden Reichweitenanzeigen (“Traffic Lights” und “Range Race”), die bewertet wurden sind in den Abbildungen 19 und 20 dargestellt.

Die Skalentestung und Evaluation der Anzeigen wurde im Rahmen der im Abschnitt 1.2. beschriebenen Studien durchgeführt. Die Stichprobe bestand aus $N$ = 40 Busfahrer:innen (2 weiblich, $M_{\text{Alter}}$ = 50.6, $SD_{Alter}$ = 9.2), die im Durchschnitt bereits 6.5 ($SD$ = 5.4) Arbeitsschichten von jeweils etwa 4 Stunden auf dem batterieelektrischen Bus abgeleistet hatten. In der Studie wurden die Anzeigen jeweils in einem Video vorgestellt und dann von den Teilnehmern:innen anhand der EDA-Skala bewertet. In den Videos wurde eine kurze Einführung über Reichweitenmanagement in batterieelektrischen Bussen als thematische Einführung von einer abstrakten und animierten Visualisierung eines Elektrobusses begleitet. Anschließend wurde eine Präsentation der animierten Anzeigen und seiner verschiedenen Zustände, seiner Werte und deren Berechnung gegeben. Am Ende wurde eine Endlosschleife der simulierten Anzeigen präsentiert, während die Teilnehmer:innen den Fragebogen ausfüllten.

**Tabelle 12**

*Items der Energy Dynamics Awareness Skala*

| | |
|---|---|
| i1 | Durch diese Anzeige bekomme ich einen sehr guten Überblick über die Energiedynamik des Systems. |
| i2 | Mithilfe dieser Anzeige kann ich den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Energieverbrauch präzise schätzen. |
| i3 | Diese Anzeige erlaubt mir, den Energieverbrauch in zukünftigen Situationen korrekt vorherzusehen. |
| i4 | Durch die Anzeige erfahre ich, wenn Energie unnötig verloren geht. |
| i5 | Die Informationen der Anzeige sind so gestaltet, dass ich genau weiß, wie ich die Energieeffizienz erhöhen kann. |
| i6 | Es ist für mich durch diese Anzeige verständlich, durch welche Handlungen ich die Energiedynamik beeinflussen kann. |
| i7 | Durch diese Anzeige fühle ich mich besser dazu imstande, die Energiedynamik in neuen Situationen nach meinem Willen zu beeinflussen. |

Die Itemanalysen (siehe Tabelle 13) ergaben sehr gute interne Konsistenzen (Cripps, 2017) für die EDA-Skala bei beiden Anzeigen ($\alpha_{\text{lights}}$ = .92, $\alpha_{\text{Race}}$ = .93). Es konnte kein Unterschied im EDA-Score zwischen der Ampelbedingung ($M$ = 4.33, $SD$ = 1.11) und der Range Race-Bedingung ($M$ = 4.00, $SD$ = 1.21) festgestellt werden ($t(39)$ = 1.55, $p$ = .129, $d$ = 0.25). Wir analysierten die interne Struktur der Skala weiter, indem wir eine explorative Faktorenanalyse mit der Hauptachsenmethode (principal axis factoring, PAF) (Costello & Osborne, 2005; de Winter & Dodou, 2012) für beide Anzeigen-Bedingungen getrennt durchführten. In beiden Analysen wiesen sowohl eine parallel analysis (Horn, 1965) als auch die Scree-Plots auf eine einfaktorielle Struktur hin.

Auf der Grundlage der vorläufigen Ergebnisse der vorliegenden Forschung kann davon ausgegangen werden, dass die Skala der Energy Dynamics Awareness (EDA) eine zuverlässige Methode ist, um zu beurteilen, wie ein Energie-Feedback-HMI ein energiebezogenes Situations-Bewusstsein unterstützt. Die Skala zeigt gute Item-Statistiken als Ein-Faktor-Modell. Obwohl es in dieser Studie statistisch nicht erkennbar war, könnte jedoch auch eine mögliche Zwei-Faktor-Struktur mit einem Verständnis- und einem Kontrollaspekt möglich sein und sollte durch Studien mit größeren Stichproben weiter untersucht werden.

Die 7 Items wurden von einer Experten-Fokusgruppe entwickelt, die mit den Konzepten der Nutzer-Energie-Interaktion und der Situation Awareness vertraut ist. Deshalb ist eine inhaltliche Validität wahrscheinlich, muss aber noch weiter untersucht werden. Um die Kriteriumsvalidität zu prüfen, sollte die EDA-Skala zusammen mit globalen Leistungsmaßen (z.B. realer/simulierter Energieverbrauch), spezifischen Leistungsmaßen (z.B. Nutzung ineffizienter Verhaltensweisen) oder Fragebögen (z.B. “Welches Haushaltsgerät verbraucht in Ihrem Haus während des Jahres am meisten Energie?”) untersucht werden. Individuelle Eigenschaften wie die Energy Literacy (DeWaters & Powers, 2011) könnten zusammen mit dem EDA-Score analysiert werden, um mehr über die EDA-Score-Varianz zu erfahren, die von den HMIs berücksichtigt werden sollten.

**Tabelle 13**

*Itemstatistiken der EDA Skala*

| Item | Item-Rest Korrelation | Cronbach's $\alpha$ wenn Item gelöscht | PAF1 | PAF2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 1 | 2 |
| *Traffic Lights HMI* | | | | | |
| i1 | .58 | .92 | .61 | .83 | |
| i2 | .83 | .89 | .87 | .77 | |
| i3 | .65 | .91 | .68 | .64 | |
| i4 | .73 | .90 | .76 | .32 | .49 |
| i5 | .89 | .89 | .93 | | .70 |
| i6 | .75 | .90 | .80 | | .94 |
| i7 | .76 | .90 | .81 | | .88 |
| *Range Race HMI* | | | | | |
| i1 | .73 | .93 | .75 | .98 | |
| i2 | .90 | .91 | .93 | .57 | .44 |
| i3 | .87 | .92 | .92 | .56 | .44 |
| i4 | .79 | .92 | .82 | .84 | |
| i5 | .82 | .92 | .85 | .33 | .61 |
| i6 | .72 | .93 | .74 | | .96 |
| i7 | .71 | .93 | .72 | | .72 |

*Hinweis*. Faktorladungen unter 0.3 werden nicht dargestellt. PAF1 = Faktorladungen der Hauptachsenmethode mit einem Faktor; PAF2 = Faktorladungen der Hauptachsenmethode mit zwei Faktoren (oblimin rotiert).

In dieser Studie konnten wir keinen statistischen Unterschied zwischen den mittleren EDA-Scores und ähnliche Varianzen feststellen, was eine wesentliche Einschränkung bei der Einschätzung des potenziellen Nutzens der Skala aus dieser Studie ist. In zukünftigen Studien ist es wichtig, HMIs zu untersuchen, die sich in strukturell relevanten Eigenschaften unterscheiden, um zu verstehen, wie sich die EDA-Skala verhält und wie die Skala in der Lage ist, zwischen diesen HMIs zu unterscheiden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Studie ein erster Schritt im Entwicklungsprozess einer Skala für die Energy Dynamics Awareness ist. Eine gute Item-Statistik und eine solide Faktorenstruktur legen die potenzielle Nützlichkeit der Skala als effizientes und valides Maß nahe.

# 4. Projektoutputs

## 4.1. Demonstratorsystem

Das im Rahmen des Projektes entwickelte System wird an dieser Stelle kurz vorgestellt. Die komplexe Systemarchitektur des gesamten NuR.E-Systems ist in Abbildung 31 dargestellt und wird im Folgenden kurz erläutert. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Komponenten findet sich im NuR.E-Leitfaden (siehe Abschnitt 4.2.).

Die durch den Bordcomputer des Busses aufgezeichneten Fahrdaten werden von den Servern des Fahrzeugherstellers auf einen Server der Universität zu Lübeck gespiegelt und in einer MySQL-Datenbank abgelegt. Während der Bus fährt, sendet der Bordcomputer im Sekundentakt Daten. Jeder neu abgelegte Datenpunkt wird für die Berechnung von Indikator- und anderen Anzeigewerten auf dem Server der Anwendung genutzt. Sobald ein neuer Datenpunkt in die Datenbank geschrieben wird, wird dieser zunächst aufbereitet. Dieser Schritt ist notwendig, da der Bordcomputer teilweise fehlerhafte oder auch sehr veraltete Daten sendet. Nachdem die Daten aufbereitet wurden, kann der NuR.E-Server diese nutzen. Redis dient dabei als Brücke zwischen den einzelnen Komponenten. Die aufbereiteten Datenpunkte werden dann über eine gesicherte Websocket-Verbindung an die Client-App übertragen.

Auf dem MySQL-Server liegen drei Datenbanken: *vehicleData*, *processedVehicleData* und *nureData*. Die vehicleData-Datenbank bildet das Gegenstück zur Datenbank des Busherstellers. Alle Fahrdaten werden automatisch in diese Datenbank übertragen. Die Daten werden bereinigt, aufbereitet und anschließend in der processedVehicleData-Datenbank gespeichert. Diese beiden Datenbanken sind ausschließlich für die Datenübertragung notwendig und werden gegebenenfalls nicht benötigt, sofern die Daten auf eine andere Art und Weise übertragen werden. Die hier zum Einsatz kommende Art der Datenübertragung ist in keinster Weise optimal. Durch die IT-Infrastruktur des Busherstellers gab es jedoch keine umsetzbaren Alternativen.

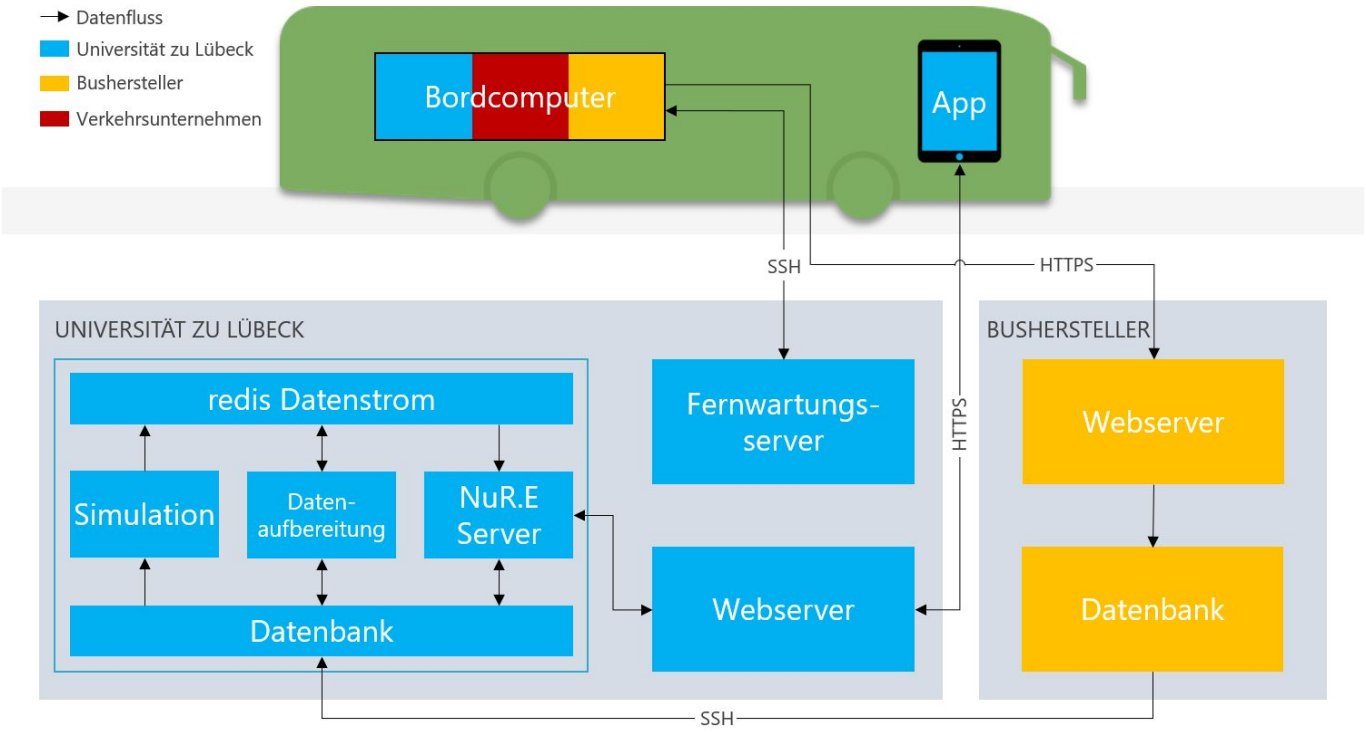
Viel wichtiger für das NuR.E-System ist die nureData-Datenbank. In dieser werden Systemrelevante Daten abgelegt. Dazu zählen unter anderem Benutzer:innen-Daten, von dem Fahrpersonal über das Tablet abgegebenes Feedback und vom Tablet aufgezeichneten Sensordaten.

Die Grundlage des Systems bildet eine klassische Client-Server-Architektur. Die Client-Anwendung wurde unter Verwendung des JavaScript-Frameworks Vue.js als Single-Page-Application umgesetzt. Für die Zustandsverwaltung (State-Management) wurde zusätzlich die erweiternde Bibliothek Vuex genutzt. Hierbei werden die Daten in einem zentralen Datenspeicher, dem sog. Store, gespeichert. Der NuR.E-Server wurde mit Node.js und dem Framework GraphQL Yoga umgesetzt.

Um die Entwicklung von Assistenzsystemen zu unterstützen, besteht auch die Möglichkeit, Busfahrten zu simulieren. Dadurch können Assistenzsysteme beispielsweise mit bestimmten Fahrmanövern getestet werden. Zudem lässt sich die Geschwindigkeit, in der eine Fahrt simuliert wird, frei konfigurieren.

**Abbildung 31**

*NuR.E Systemarchitektur*




Die technische Realisierung lässt sich in drei Phasen beschreiben. In der ersten Phase wurde die eingesetzte Technik erstmalig im Feldversuch getestet und vor Allem die Kommunikation zwischen den einzelnen Systemkomponenten überprüft und optimiert. Das Tablet wurde in die Fahrpersonalkabine des Busses eingebaut und präsentierte dem Fahrpersonal zunächst nur einen schwarzen Bildschirm mit der Information, dass an dieser Stelle demnächst der Reichweitenassistent zu finden ist.

In der zweiten Phase wurde das System um eine Informationsseite sowie um eine Möglichkeit zur Abgabe von Feedback erweitert (Abbildung 32). Dies diente einerseits zur Einholung von Feedback der Fahrer:innen, aber auch dazu, die Fahrer:innen mit dem Tablet vertraut zu machen. Außerdem wurde in dieser Phase die Mobilfunkabdeckung auf der Strecke untersucht. Dazu hat das Tablet in einem regelmäßigen Intervall Daten an den NuR.E-Server übertragen. Dazu zählen zum einen GPS-Daten, aber auch verschiedene, über das Tablet erfassbare, Sensordaten. Zudem haben die Fahrer:innen jederzeit die Möglichkeit, den Bildschirm abzudunkeln. Diese Funktionalität wurde sich explizit von den Fahrer:innen gewünscht.

In der dritten Phase wurde die Anwendung um die bereits beschriebene Reichweitenampel (siehe Abbildung 33) erweitert. Dadurch haben die Fahrer:innen nun erstmalig Informationen über den Energieverbrauch des Busses erhalten.

**Abbildung 32**

*Konzept “Feedback” im Demonstratorsystem*

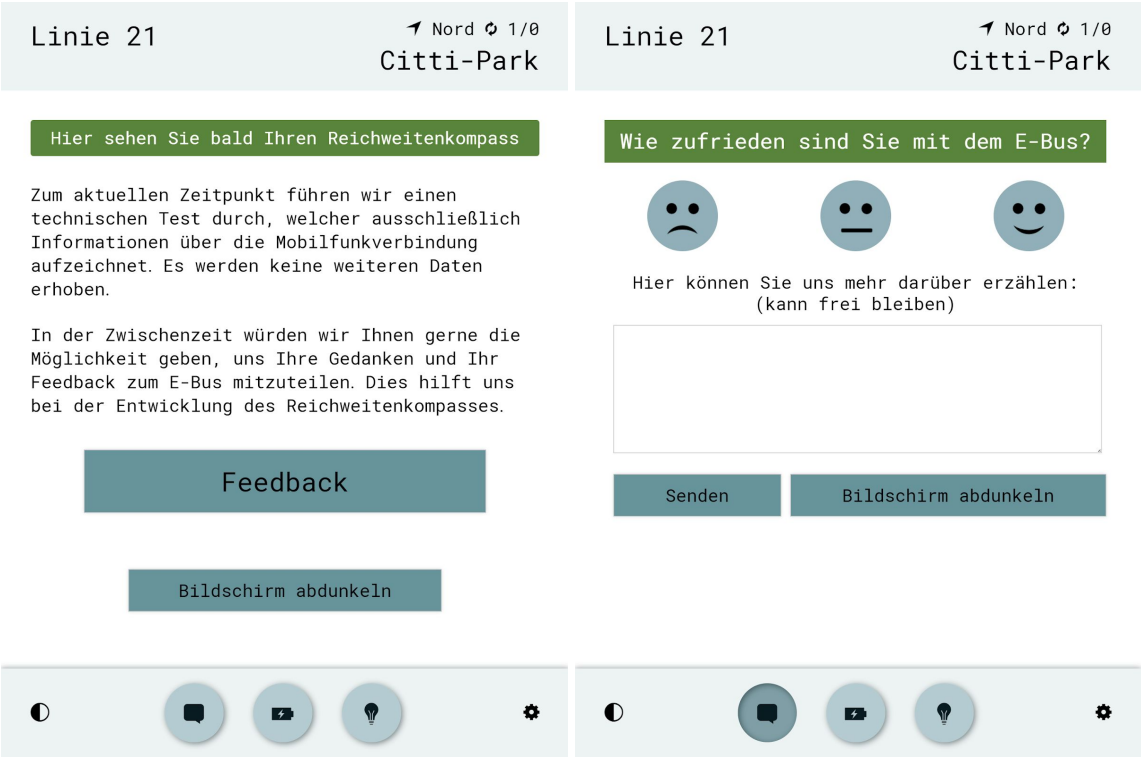
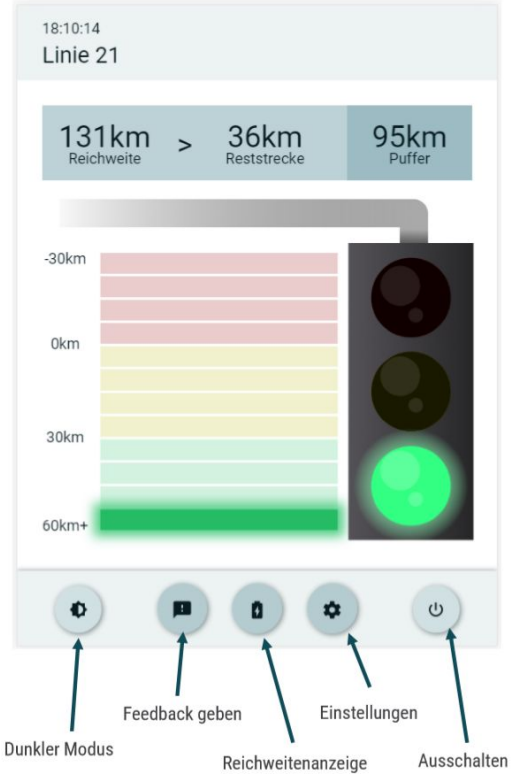



**Abbildung 33**

Interface - Konzept “Reichweitenampel” im Demonstratorsystem



Im oberen Bereich wird die noch verbleibende Restreichweite, die Reststrecke und der sich daraus ergebende Puffer in Kilometern angegeben. Darunter befindet sich eine Visualisierung des Puffers in Form einer Ampel, die je nach Größe des Puffers ihre Farbe wechselt. Die Möglichkeit zur Abgabe von Feedback ist weiterhin über einen Button in der Navigationsleiste erreichbar. Hier haben die Fahrer:innen auch weiterhin die Möglichkeit, zu einem dunklen Farbschema zu wechseln oder auf Wunsch den Bildschirm komplett abzudunkeln und die Anwendung damit auszuschalten.

Zusätzlich haben die Fahrer:innen in den Einstellungen die Möglichkeit, die Gesamtstrecke des aktuellen Umlaufs einzutragen. Bei Beginn der Fahrt wird das Fahrpersonal automatisch dazu aufgefordert, die Gesamtstrecke einzutragen. Anhand dieses Wertes wird der auf der Reichweitenampel angezeigte Puffer berechnet. Die Weiterentwicklung, Integration weiterer Assistenzsysteme und das Testen dieser im Feldversuch, war aufgrund der Außerbetriebnahme der Elektrobusse nicht möglich.

## 4.2. Leitfaden

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Leitfaden angefertigt, welcher Ansatzpunkte zur Implementierung von Assistenzsystemen im Kontext Reichweitenmanagement von Elektrobussen im ÖPNV liefert. In dem Leitfaden wird beschrieben,

- wie ein begleitendes Reichweitenmanagementsystem den Betrieb von Elektrofahrzeugen ökologisch und ökonomisch optimieren kann,
- welche Ausgangslage für ein solches System geschaffen werden sollte,
- welche Assistenzansätze das Fahrpersonal und andere Stakeholder unterstützen können und
- wie ein Beispielsystem aussehen und eingerichtet werden kann.

Die Beschreibung und Dokumentation des NuR.E Demonstratorsystems dient als Vorbild zur Anwendung in einem ÖPNV-Setting oder zum Transfer der Erkenntnisse in weitere Elektromobilitäts-Anwendungen (z.B. in der Logistik). Das zur Implementierung des Demonstratorsystems notwendige Installations-Paket ist unter https://gitlab.com/IngPsyDev/nur.e verfügbar. Der Leitfaden kann kostenfrei über die Tectum eLibrary (https://www.tectum-elibrary.de/) abgerufen werden (ISBN 978-3-8288-4527-5).

Die Inhalte des Leitfadens richten sich an Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) - insbesondere deren Zuständige für Management, Informationstechnik und Elektromobilität - die den Einsatz von batterie-elektrisch betriebenen Bussen im öffentlichen Nahverkehr untersuchen, planen oder bereits gestartet haben. Darüber hinaus soll der Leitfaden allen Interessierten aus Politik, Wissenschaft und Forschung einen Überblick über die Möglichkeiten des nutzerzentrierten Reichweitenmanagements geben.

## 4.3. Wissenschafts-/Öffentlichkeitskommunikation

Ein Teil des Projekts war die konsequente Wissenschaftskommunikation und Öffentlichkeitsarbeit um die Projektergebnisse zeitnah über adäquate Kanäle an die breite und Fachöffentlichkeit zu verbreiten. Im Rahmen von NuR.E wurde dafür folgendes durchgeführt:

- Pressetermin 1. Februar 2018
- Posterbeitrag, international, HFES Europe: Gödker, M., Franke, T. (2018).
- Kurzbeitrag, national, Mensch & Computer 2018: Gödker, M., Herrmann, D., & Franke, T. (2018).

- Poster: Forum Elektromobilität WTSH
- Best-Practice Podium Future Energies 2018
- Best-Practice Podium Berliner Energietage 2019
- Konferenzvortrag, national, FG Verkehrspsychologie DGPs 2019: Gödker, M. , Hiesener, E., Franke, T. (2019).
- Kurzbeitrag, national, Mensch & Computer 2019: Gödker, M., Dresel, M., & Franke, T. (2019).
- Konferenzbeitrag, international, HCII 2020: Stahl J., Gödker M., Franke T. (2020).

Zudem war das Projektteam mit folgenden Akteuren im Bereich Elektromobilität, ÖPNV oder psychologischer Mensch-Technik Forschung im Austausch und hat das NuR.E Projekt vorgestellt:

- MAN (Mannheim)
- Stadtwerke Kiel
- VW (Wolfsburg)
- Energiecluster Digitales Lübeck
- Viriciti (Amsterdam, NL)
- IAA Nutzfahrzeuge 2018 (Hannover)
- Hamburger Hochbahn
- DLR Verkehrsforschung (Berlin)
- DLR Luft- und Raumfahrtpsychologie (Hamburg)

# 5. Ausblick

Das Projekt NuR.E als ein ingenieurpsychologisches und medieninformatisches Forschungsvorhaben ist ein exploratives und richtungsweisendes Projekt im Bereich der Elektromobilität im ÖPNV. Es ist gelungen Nutzerforschung mit dem Ziel des Energie- und Klimaschutz an einer in der Literaturlandschaft seltenen und besonderen Stichprobe durchzuführen und die in diesem Zusammenhang auftretenden Herausforderungen zur Teilnahme(bereitschaft), des Datenschutzes und der Sicherheit offenzulegen und mithilfe innovativer Interfacekonzepte in ersten Schritten zu adressieren. Dabei fand auch die Vernetzung mit anderen ÖPNV Unternehmen und die Wissenschaftskommunikation an die fachliche und breite Öffentlichkeit statt.

## 5.1. Offene Forschungsfragen

Aus den Projektergebnissen ergeben sich nun weitere offene Forschungsfragen. Zum einen wurden im Projekt NuR.E energie- und reichweitenbezogene Informationsverarbeitungsprozesse in einem ersten Schritt als Videostudien untersucht. Aber lassen sich diese Erkenntnisse auf die Prozesse in der realen Nutzung im Feld übertragen? Das Demonstratorsystem fokussiert sich insbesondere auf korrekte und kognitiv-unterstützende Informationen, aber nicht auf motivierende. Es ist bisher unklar, inwieweit motivationale Aspekte des Fahrpersonals die Anzeigennutzung beeinflussen. Des Weiteren ist das Demonstratorsystem zu Testzwecken auf den Betrieb von zwei Elektrobussen ausgelegt. Perspektivisch werden aber viel mehr Elektrobusse im Einsatz sein. Dies kann Auswirkungen auf die Darstellung Bus-individueller Informationen haben oder auf das Monitoring der Elektrobusse durch die Disponent:innen. Im Zusammenhang mit der Unterschiedlichkeit der Busse, aber auch der Nutzer:innen und der Situationen stellt sich die Frage, wie die Adaptierbarkeit des Assistenzsystems eine Antwort auf diese Gesamtkomplexität darstellt.

Der Großteil der Fahrdatenanalyse innerhalb des Projekts bezieht sich auf die Strecke eines spezifischen Busumlaufs des Stadtverkehr Lübecks. Dies ist ein enormer Vorteil um die Vergleichbarkeit der einzelnen Fahrten zu wahren, jedoch bleibt die Frage offen, welche Variationen in allen Fahrten im gesamten Liniennetz zu erwarten sind, und welche Auswirkung das auf die angezeigten Informationen hat.

## 5.2. Forschungsausblick

Auf Basis dieser offenen Fragen sollten sich zukünftige Forschungsvorhaben und -projekte auf drei große Themengebiete fokussieren, um die ingenieurpsychologische Nutzerforschung der Elektromobilität für die Bestrebungen des Energie- und Klimaschutzes voranzutreiben:

1. **Weitere Experimente für Nutzerevaluationen durchführen.**

Damit sind insbesondere Videostudien, Online-Experimente, sowie experimente in E-Fahrsimulationen und Fahrt-Experimente auf Teststrecken gemeint. Durch experimentelles Vorgehen kann die Nützlichkeit einzelner Anzeigenelemente (z.B. Adaptierbarkeit, Individualisierung) auf das Fahrverhalten in geschützten Settings überprüft und eingeschätzt werden. Erste Tests zur Ablenkungswirkung und Sicherheit von Anzeigen sollten in solchen geschützten Settings durchgeführt werden.

2. **Realtests der Anzeige im Feld.**

Mittels realer Feldstudien können einerseits Schätzungen zur Effektivität von Anzeigen bei der Unterstützung des Energieeffizienten Fahrens gemacht werden. Es kann besser verstanden werden, welche Informationsverarbeitung im realen Betrieb überhaupt und wie funktioniert. Zudem ist davon auszugehen, dass motivationale Elemente der Anzeige in Realbetrieb eine reduzierte oder gesteigerte Wirkung haben, was bisher unklar ist. Aufbauend auf vorherige Experimente kann sich in Realtest behutsam an die Ablenkungswirkung und die Sicherheit der Anzeigen im Realbetrieb herangetastet werden.

3. **Grundlegende psychologische Konzepte der Energienutzung erforschen.**

Energieeffizientes Fahrverhalten und energieeffiziente Entscheidungen können durch Anzeigen unterstützt werden. Dabei muss aber noch stärker erforscht werden, welche Grundvoraussetzungen für ein gutes Verständnis und effektive Entscheidungen bzw. Handlungen gegeben sein müssen. Beispielsweise können Elektrobusfahrer:innen zwar ein gutes technisches Verständnis der elektrotechnischen Dynamik beim Fahren haben, dieses Wissen in dynamischen Situationen aber möglicherweise nicht korrekt einsetzen. Auf der anderen Seite sind korrekte mentale Modelle eine Grundvoraussetzung für situationsübergreifende korrekte Handlungen, die man leichter unterstützen kann. Die zentralen psychologischen Konzepte und Parameter müssen in grundlegenden Studien weiter erforscht und publiziert werden.

# Literaturverzeichnis


Arend, M. G., & Franke, T. (2017). The role of interaction patterns with hybrid electric vehicle eco-features for drivers' eco-driving performance. *Human factors*, *59*(2), 314-327. https://doi.org/10.1177%2F0018720816670819

Attari, S. Z., DeKay, M. L., Davidson, C. I., & De Bruin, W. B. (2010). Public perceptions of energy consumption and savings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(37), 16054-16059. https://doi.org/10.1073/pnas.1001509107

Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, *84*(2), 191. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.84.2.191

Beck, H. (2014). Das „Heuristics-and-Biasses "-Programm. In H. Beck (Eds.), *Behavioral Economics* (pp. 25-100). Springer.

Bingham, C., Walsh, C., & Carroll, S. (2012). Impact of driving characteristics on electric vehicle energy consumption and range. *IET Intelligent Transport Systems*, *6*(1), 29-35. https://doi.org/10.1049/iet-its.2010.0137

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, *3*(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brounen, D., Kok, N., & Quigley, J. M. (2013). Energy literacy, awareness, and conservation behavior of residential households. *Energy Economics*, *38*, 42-50. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.02.008

Carroll, J. M., & Olson, J. R. (1987). Mental models in human-computer interaction: Research issues about what the user of software knows. Committee on Human Factors, Commission on Behavioral and Social Sciences and Education, National Research Council.

Carroll, J. M., Mack, R. L., & Kellogg, W. A. (1988). Interface metaphors and user interface design. In M. Helander (Eds.), *Handbook of human-computer interaction* (pp. 67-85). North-Holland. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-70536-5.50008-7

Carver, C. S., & Scheier, M. F. (2001). *On the self-regulation of behavior*. Cambridge University Press.

Charness, G., Gneezy, U., & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods: Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *81*(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009

Cohen, J. (1988). The effect size index: d. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, *2*(1).

Costello, A. B., & Osborne, J. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical assessment, research, and evaluation*, *10*(1), 7.

Cripps, B. (2017). *Psychometric testing: Critical perspectives*. John Wiley & Sons.

Dahlinger, A., Wortmann, F., Ryder, B., & Gahr, B. (2018). The impact of abstract vs. concrete feedback design on behavior insights from a large eco-driving field experiment. *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CA*, 1-11. https://doi.org/10.1145/3173574.3173953

Darby, S. (2006). The effectiveness of feedback on energy consumption. *A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and direct Displays*. University of Oxford. http://copperalliance.org.uk/uploads/2018/02/smart-metering-report.pdf

Davis, F. D. (1985). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results* [Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology]. https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/15192/14927137-MIT.pdf

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1992). Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace 1. *Journal of Applied Social Psychology, 22*(14), 1111-1132. https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x

De Winter, J. C., & Dodou, D. (2012). Factor recovery by principal axis factoring and maximum likelihood factor analysis as a function of factor pattern and sample size. *Journal of Applied Statistics*, *39*(4), 695-710. https://doi.org/10.1080/02664763.2011.610445

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). The general causality orientations scale: Self-determination in personality. *Journal of Research in Personality*, *19*(2), 109-134.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, *11*(4), 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

DeWaters, J. E., & Powers, S. E. (2011). Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior. *Energy policy*, *39*(3), 1699-1710. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.049

Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2017). *Statistik und forschungsmethoden* (4th ed.). Beltz.

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, *37*(1), 32-64. https://doi.org/10.1518%2F001872095779049543

Endsley, M. R. (2016). *Designing for situation awareness: An approach to user-centered design* (2nd ed.). CRC press.

Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering Statistics Using R*. SAGE Publications.

Franke, T., & Krems, J. F. (2013). Interacting with limited mobility resources: Psychological range levels in electric vehicle use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *48*, 109-122. https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.010

Franke, T., Günther, M., Trantow, M., Rauh, N., & Krems, J. F. (2015a). Range comfort zone of electric vehicle users–concept and assessment. *IET Intelligent Transport Systems, , 9*(7), 740-745. https://doi.org/10.1049/iet-its.2014.0169

Franke, T., Neumann, I., Bühler, F., Cocron, P., & Krems, J. F. (2012). Experiencing range in an electric vehicle: Understanding psychological barriers. *Applied Psychology*, *61*(3), 368-391. https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2011.00474.x

Franke, T., Trantow, M., Günther, M., Krems, J. F., Zott, V., & Keinath, A. (2015b). Advancing electric vehicle range displays for enhanced user experience: the relevance of trust and adaptability. *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, USA, 7*, 249-256. https://doi.org/10.1145/2799250.2799283

Frese, M. (2009). Towards a psychology of entrepreneurship—an action theory perspective. *Foundations and Trends in Entrepreneurship, 5*(6), 437-496.

Gigerenzer, G., & Gaissmaier, W. (2011). Heuristic decision making. *Annual review of psychology*, *62*, 451-482. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120709-145346

Gigerenzer, G., & Todd, P. M. (1999). *Simple heuristics that make us smart*. Oxford University Press.

Gödker, M. , Franke, T. (2018). *Supporting user interaction with the range of electric buses in local public transport*. [Poster session]. Annual Conference of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter, Berlin, Germany.

Gödker, M., Dresel, M., & Franke, T. (2019a). EDA Scale-Assessing Awareness for Energy Dynamics. *Proceedings of Mensch und Computer 2019, Germany*, 683-687. https://doi.org/10.1145/3340764.3344891

Gödker, M. , Hiesener, E., Franke, T. (2019b) Entwicklung von Fahrverhaltensindikatoren zur handlungsintegrierten Charakterisierung von Energieeffizienz bei Elektrofahrzeugen. In *3. Kongress der Fachgruppe Verkehrspsychologie*, Saarbrücken, 5.-7.03.2019 Braunschweig, DE.

Gödker, M., Herrmann, D., & Franke, T. (2018). User perspective on eco-driving HMIs for electric buses in local transport. In R. Dachselt, & G. Weber (Eds.), *Mensch und Computer 2018 - Tagungsband*. Gesellschaft für Informatik e.V. https://dx.doi.org/10.18420/muc2018-mci-0382

Gulbrandsen, H., & Franang, T. A. (2015). *CoSSMunity: Applying Gamification to create Informed Energy Users within a Smart Grid Community* [Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology]. NTNU Open. http://hdl.handle.net/11250/2353496

Günther, M., Rauh, N., & Krems, J. F. (2017). Conducting a study to investigate eco-driving strategies with battery electric vehicles–a multiple method approach. *Transportation Research Procedia*, *25*, 2242-2256. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.431

Gustafsson, A., & Gyllenswärd, M. (2005). The power-aware cord: energy awareness through ambient information display. *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, USA*, 1423-1426. https://doi.org/10.1145/1056808.1056932

Hacker, W. (1978). *Allgemeine Arbeits-und Ingenieurpsychologie: Psychische Struktur und Regulation von Arbeitstätigkeiten*. H. Huber.

Harris, L. A. (2007). *CliffsAP Psychology: An American BookWorks Corporation Project*. Houghton Mifflin Harcourt.

Heath, S., Sant, P., & Allen, B. (2013). Do you feel lucky? Why current range estimation methods are holding back EV adoption. *Proceedings of the IET Conference on Hybrid and Electric Vehicles, UK*. https://doi.org/10.1049/cp.2013.1893

Herczeg, M. (2014). *Prozessführungssysteme: Sicherheitskritische Mensch-Maschine-Systeme und interaktive Medien zur Überwachung und Steuerung von Prozessen in Echtzeit*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag.

Herrmann, M. R., Brumby, D. P., Oreszczyn, T., & Gilbert, X. M. (2018). Does data visualization affect users' understanding of electricity consumption?. *Building Research & Information*, *46*(3), 238-250. https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1356164

Hoff, K. A., & Bashir, M. (2015). Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human factors*, *57*(3), 407-434. https://doi.org/10.1177%2F0018720814547570

Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, *30*(2), 179-185.

International Organization for Standardization. (2019). Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems (ISO Standard No. 9241-210:2019). https://www.iso.org/standard/77520

Jung, M. F., Sirkin, D., Gür, T. M., & Steinert, M. (2015). Displayed uncertainty improves driving experience and behavior: The case of range anxiety in an electric car. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, Republic of Korea, 33*, 2201-2210. https://doi.org/10.1145/2702123.2702479

Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons.

Kelly, J., & Knottenbelt, W. (2016). Does disaggregated electricity feedback reduce domestic electricity consumption? A systematic review of the literature. *arXiv preprint arXiv:1605.00962*. https://arxiv.org/abs/1605.00962

Kumar, R. (2015). Regenerative Brake: To Harness the Kinetic Energy of Braking. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, *2*(1), 124–129.

Landau, M., Loehmann, S., & Koerber, M. (2014). Energy Flow: A Multimodal'Ready'Indication For Electric Vehicles. *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, USA, 6*, 1-6. https://doi.org/10.1145/2667239.2667301

Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, *46*(1), 50-80. https://doi.org/10.1518%2Fhfes.46.1.50_30392

Lewis, A. (Ed.). (2008). *The Cambridge handbook of psychology and economic behaviour*. Cambridge University Press.

Loehmann, S., Landau, M., Koerber, M., & Butz, A. (2014). Heartbeat: Experience the pulse of an electric vehicle. *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, USA, 6*, 1-10. https://doi.org/10.1145/2667317.2667331

Luhmann, N. (2014). *Vertrauen - Ein Mechanismus der Reduktion sozialer Komplexität* (5th ed.). UVK.

Neumann, I., Franke, T., Cocron, P., Bühler, F., & Krems, J. F. (2015). Eco-driving strategies in battery electric vehicle use–how do drivers adapt over time?. *IET Intelligent Transport Systems*, *9*(7), 746-753. https://doi.org/10.1049/iet-its.2014.0221

Perrotta, D., Macedo, J. L., Rossetti, R. J., Afonso, J. L., Kokkinogenis, Z., & Ribeiro, B. (2013). Driver attitude and its influence on the energy waste of electric buses. In M. Behrisch, D. Krajzewicz, & M. Weber (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 8594. Simulation of Urban Mobility* (pp. 99-108). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45079-6_8

Preim, B., & Dachselt, R. (2010). *Interaktive Systeme, Band 1 - Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung* (2nd ed.). Springer-Verlag.

Rasmussen, H. B., Lützen, M., & Jensen, S. (2018). Energy efficiency at sea: Knowledge, communication, and situational awareness at offshore oil supply and wind turbine vessels. *Energy research & social science*, *44*, 50-60. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.039

Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S., Elmqvist, N., & Diakopoulos, N. (2016). *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction* (6th ed.). Pearson.

Simon, H. A. (1972). Theories of bounded rationality. *Decision and organization, 1*(1), 161-176.

Sivak, M., & Schoettle, B. (2012). Eco-driving: Strategic, tactical, and operational decisions of the driver that influence vehicle fuel economy. *Transport Policy*, *22*, 96-99. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.010

Stahl J., Gödker M., Franke T. (2020). Range InSight - Visualizing Range-Related Information in Battery Electric Buses. In M. Krömker (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 12212. HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems.* (pp. 393-403). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50523-3_28

Steinberger, F., Schroeter, R., Lindner, V., Fitz-Walter, Z., Hall, J., & Johnson, D. (2015). Zombies on the road: a holistic design approach to balancing gamification and safe driving. *Proceedings of the 7th International*

*Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, USA, 7*, 320-327. https://doi.org/10.1145/2799250.2799260

Strömberg, H., Andersson, P., Almgren, S., Ericsson, J., Karlsson, M., & Nåbo, A. (2011). Driver interfaces for electric vehicles. *Proceedings of the 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 3*, 177-184. https://doi.org/10.1145/2381416.2381445

Topliss, B. H., Pampel, S. M., Burnett, G., Skrypchuk, L., & Hare, C. (2018). Establishing the role of a virtual lead vehicle as a novel augmented reality navigational aid. *Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications CA, 10*, 137-145. https://doi.org/10.1145/3239060.3239069

Tozzi, M., Bousse, Y., Karlsson, M., & Guida, U. (2016). A European initiative for more efficient and attractive bus systems: the EBSF_2 Project. *Transportation Research Procedia*, *14*, 2640-2648. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.421

Volpert, W. (1992). Work design for human development. In C. Floyd, H. Züllighoven, R. Budde, & R. Keil-Slawik (Eds.), *Software Development and Reality Construction* (pp. 336-348). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76817-0_27

Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering psychology and human performance* (4th ed.). Routledge.

Zhou, M., Jin, H., & Wang, W. (2016). A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *49*, 203-218. https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008